INTELIGENSIA MEDIA
Teknik Sipil
U-17+
Harga P. Jawa Rp

PERENCANAAN JARINGAN

IRIGASI SALURAN TERBUKA

Eko Noerhayati
Bambang Suprapto

PERENCANAAN JARINGAN

IRIGASI SALURAN TERBUKA

Inteligensia Media
Malang 2018

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Perencanaan Jaringan Irigasi Saluran Terbuka

Penulis:
Eko Noerhayati
Bambang Suprapto

ISBN: 978-602-5562-33-4

Copyright © Juli, 2018
15,5cm X 23cm; Hal: xiv + 232

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak dalam bentuk apapun tanpa ijin tertulis dari pihak penerbit.

Cover: Rahardian Tegar
Layout: Kamilia Sukmawati

Cetakan I, 2018

Diterbitkan pertama kali oleh *Inteligensia Media*
Jl. Joyosuko Metro IV/No 42 B, Malang, Indonesia
Telp./Fax. 0341-588010
Email: intelegensiamedia@gmail.com

Anggota IKAPI

Didistribusikan oleh **CV. Cita Intrans Selaras**
Wisma Kalimetro, Jl. Joyosuko Metro 42 Malang
Telp. 0341-573650
Email: intrans_malang@yahoo.com

Kata Pengantar ...

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, sebab pada akhirnya rencana buku ajar yang berjudul ***PERENCANAAN JARINGAN IRIGASI SALURAN TERBUKA*** ini berhasil di-selesaikan. Buku ini merupakan hasil kerja keras kami yang tujuan utamanya adalah membantu adik-adik mahasiswa yang mengikuti mata kuliah Rekayasa Irigasi Jurusan Teknik Sipil di Fak.Teknik UNISMA Malang. Secara lebih luas buku ini diharapkan dapat dibaca oleh khalayak ramai, terutama para pelaku bidang keairan khususnya pengelolaan Daerah Irigasi mengingat sampai saat ini masih ada permasalahan tentang pemberian air pada Daerah irigasi. Bagi para pecinta ilmu Teknik Sipil, buku ini diharapkan dapat menjadi bacaan alternatif yang memperkaya wawasan.

Penulis berterima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan naskah buku ajar ini. Tentu masih banyak kekurangan, beberapa bab harus lebih dilengkapi dengan informasi terbaru yang terus menerus berkembang. Namun demikian semoga buku ini bermanfaat bagi pembacanya.

Malang, Juni 2018

Pengantar Penerbit ...

Di negeri agraris, pertanian adalah kunci. Dan di dunia pertanian, irigasi adalah yang utama. Maka tidak memperhatikan pentingnya sebuah sistem irigasi sama halnya tidak mengindahkan pertanian di negeri kita yang agraris ini.

Dalam buku ini dijelaskan bahwa masyarakat Indonesia telah mengenal sistem irigasi sejak lebih dari 1000 tahun yang lampau. Mengutip Van Setten van der Meer (1979) yang memaparkan kehidupan masyarakat petani di Jawa Barat telah mengenal sistem hidraulika sejak abad ke-5. Kala itu masyarakat setempat telah mampu membangun suatu saluran pengelak banjir sepanjang kurang lebih 10 km di muara Sungai Citarum dekat Jakarta.

Sejarah di atas membuktikan kalau masyarakat di tanah air telah mengenal sistem jaringan irigasi yang teratur. Hal ini menjelaskan bahwa ada sejarah panjang antara manusia Indonesia dalam kehidupan bertani sesuai dengan takrif sistem irigasi:

Tindakan intervensi manusia untuk mengubah tagihan air dari sumbernya menurut ruang dan waktu serta mengelola sebagian atau seluruh jumlah tersebut untuk menaikkan produksi tanaman.

Perjalanan panjang sistem irigasi di Indonesia tentu saja banyak melahirkan banyak buah pemikiran. Salah satunya adalah buku yang Anda pegang saat ini. *Perencanaan Jaringan Irigasi Saluran Terbuka* adalah buku yang laik sebagai pedoman mengenal sistem irigasi lebih dalam. Terutama jaringan irigasi saluran terbuka.

Inteligensia Media sebagai penerbit mendapatkan kebanggaan yang luar biasa karena telah dipercaya untuk menerbitkan buku *Perencanaan Jaringan Irigasi Saluran Terbuka*. Harapannya ke depan akan semakin banyak buku-buku bermanfaat yang bisa kami terbitkan bersama para penulis kompeten lainnya. *Rebut perubahan dengan membaca!*

Daftar Isi ...

Kata Pengantar -- *v*

Pengantar Penerbit -- *vi*

Daftar Isi -- *viii*

Daftar Tabel -- *xiii*

Daftar Gambar -- *xiii*

BAB 1. Pengertian Irigasi dan Pengairan -- 1

1.1 Takrif Irigasi -- 1

1.2 Pokok-pokok Pembelajaran -- 5

BAB 2. Hubungan Saling Pengaruh antara Tanah, Air, Udara, dan Tanaman -- 8

2.1 Pengantar -- 8

2.2 Tanah -- 9

2.3 Air dalam Tanah -- 10

2.4 Lengas Tanah -- 11

2.5 Bentuk Lengas Tanah -- 12

2.6 Konstanta lengas tanah -- 13

2.7 Zona perakaran -- 17

2.8 Kesuburan tanah -- 18

2.9 Kebutuhan air tanaman -- 19

2.10 Gerakan lengas dalam tanah -- 20

BAB 3. Jenis Sumber Air, Ketersediaan Air -- 21

3.1 Pengertian air -- 21

3.2 Jenis Sumber Air -- 23

3.3 Ketersediaan Air Di Indonesia -- 25

BAB 4. Cara Menentukan Kebutuhan Air Bagi Tanaman -- 26

4.1 Pendahuluan -- 26

4.2 Metode Blaney Criddle -- 29

4.3 Metode Radiasi -- 31

4.4 Metode Penman -- 33

4.5 Metode Panci Evaporasi -- 37

4.6 Memilih koefisien tanaman -- 38

4.7 Beberapa metode lain -- 38

4.7.1 Metode Thornthwaite -- 38

4.7.2 Metode Wickman -- 39

4.7.3 Lain-lain -- 39

BAB 5. Kebutuhan Air untuk Tanaman dan Kebutuhan Air Irigasi -- 40

5.1 Kebutuhan air tanaman -- 40

5.1.1 Kebutuhan Air di Sawah -- 41

5.1.2 Perkolasi -- 42

5.1.3 Kebutuhan Air Untuk Penyiapan lahan -- 43

5.1.4 Pergantian Lapisan Air -- 44

5.2 Kebutuhan Air Irigasi -- 44

5.2.1 Efisiensi Irigasi -- 45

BAB 6. Teknik Pemberian Air Irigasi -- 47

6.1 Pendahuluan -- 47

6.1.1 Fungsi irigasi -- 47

6.1.2 Macam-macam sistem irigasi -- 48

6.2 Irigasi Permukaan -- 52
6.2.1 Pendahuluan -- 52
6.2.2 Proses Irigasi Permukaan -- 52
6.2.3 Hidrolika Irigasi Permukaan -- 54
6.2.4 Kinerja Irigasi Permukaan -- 58
6.2.5 Irigasi Genangan/Sawah (*Basin Irrigation*) -- 60
6.2.6 Irigasi Luapan (*Border*) -- 61
6.2.7 Irigasi Alur (*Furrow Irrigation*) -- 61
6.2.8 Irigasi Surjan -- 63
6.3 Irigasi Curah (*Sprinkler*) -- 64
6.3.1 Pendahuluan -- 64
6.3.2 Bagian-bagian sistem irigasi curah -- 65
6.4 Kinerja Sprinkler -- 67
6.5 Pemilihan Sprinkler -- 69
6.6 Irigasi Tetes (*Trickle*) -- 70
6.6.1 Pendahuluan -- 70
6.6.2 Bagian-bagian Trickle -- 72
6.6.3 Perancangan Irigasi Tetes -- 74
6.7 Komponen Irigasi dalam Sistem Hidroponik -- 74
6.7.1 Pendahuluan -- 74
6.7.2 Macam-macam Sistem Hidroponik -- 75
6.7.3 Nutrient Film Technique (NFT) -- 75
6.7.4 Floating Hydroponic System (FHS) -- 77
6.7.5 Hidroponik substrat -- 78
6.7.6 Aeroponik -- 80
6.7.7 Rumah Kaca (*Greenhouse*) -- 81

BAB 7. Sistem Saluran/Jaringan Irigasi (Irigasi Permukaan) -- 82

7.1 Pendahuluan -- 82

7.2 Petak Ikhtisar -- 83

7.2.1 Petak tersier -- 83

7.2.2 Petak sekunder -- 84

7.2.3 Petak primer -- 85

7.3 Bangunan -- 85

7.3.1 Bangunan Utama -- 85

7.3.2 Jaringan Irigasi -- 87

7.3.3 Bangunan bagi dan Sadap -- 89

7.3.4 Bangunan-bangunan Pengukur dan Pengatur -- 89

7.3.5 Bangunan Pengatur Muka Air -- 91

7.3.6 Bangunan Pembawa -- 91

7.3.7 Bangunan Lindung -- 94

7.3.8 Jalan dan Jembatan -- 95

7.3.9 Bangunan Pelengkap -- 95

7.4 Standar Tata Nama -- 96

7.4.1 Daerah Irigasi -- 96

7.4.2 Jaringan Irigasi Primer -- 97

7.4.3 Jaringan Irigasi Tersier -- 100

7.4.4 Jaringan Pembuang -- 101

7.4.5 Tata Warna Peta -- 101

7.5 Definisi mengenai Irigasi -- 102

BAB 8. Penahapan Perencanaan Irigasi -- 104

8.1 Pendahuluan -- 104

8.2 Tahap Studi -- 111

8.2.1 Studi awal -- 118

8.2.2 Studi identifikasi -- 119

8.2.3 Studi Pengenalan -- 120

8.2.4 Studi Kelayakan -- 124

8.2.5 Tahap Perencanaan -- 126

BAB 9. Pola Tanam -- 138

BAB 10. Kegiatan Operasi Jaringan Irigasi -- 141

10.1 Ruang Lingkup Kegiatan Operasi Jaringan Irigasi -- 141

10.1.1 Perencanaan -- 141

10.1.2 Pelaksanaan -- 141

BAB 11. Pembagian Air Irigasi -- 143

11.1 Tujuan Pengaturan Pemberian Air -- 144

11.2 Sistem Pemberian Air Irigasi -- 144

11.3 Sistem Pemberian Air Secara Terus Menerus -- 145

11.4 Sistem Pemberian Air Secara Giliran -- 145

11.5 Beberapa cara pemberian air irigasi di Indonesia -- 145

BAB 12. Optimasi Pemberian Air Irigasi -- 146

12.1 Formulasi Model Optimasi -- 146

12.2 Program Linier -- 147

12.2.1 Formulasi Program Linier -- 147

12.2.2 Penyelesaian Program Linier -- 149

12.3 SOLVER Pada MS Excell -- 149

12.3.1 Penyelesaian Metode SOLVER -- 150

12.4 Rencana Pembagian Air Irigasi -- 151

12.4.1 Tujuan Pengaturan Pemberian Air -- 152

12.5 Sistem Pemberian Air Irigasi -- 152

12.5.1 Sistem Pemberian Air Secara Terus Menerus -- 152

12.5.2 Sistem Pemberian Air Secara Giliran -- 153

Glossarium -- 154

Index -- 160

Daftar Pustaka -- 163

Lampiran -- 165

Soal-soal Irigasi -- 229

Tentang Penulis -- 232

Daftar Tabel ...

Tabel 4.1 Data-Data Klimatologi yang Dibutuhkan untuk Berbagai Metode -- 28
Tabel 4.2 Harga Kc yang Disarankan, Bagi Tanaman Padi -- 38
Tabel 5.1 Harga Perkolasi dari Berbagai Jenis Tanah -- 42
Tabel 7.1 Alat-Alat Ukur -- 90
Tabel 8.1 Penahapan Proyek -- 106
Tabel 8.1 Studi Pengenalan -- 121

Daftar Gambar ...

Gambar 1.1 Abstraksi Sistem Irigasi sebagai Proses Pengambilan dan Pengaliran Air -- 6
Gambar 2.1 Komposisi Tanah -- 10
Gambar 2.2 Ilustrasi Air di dalam Tanah -- 11
Gambar 2.3 Bentuk Lengas dalam Tanah -- 13
Gambar 2.4 Bentuk Lengas Tanah -- 16
Gambar 2.5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan pH -- 19
Gambar 6.1 Jenis-Jenis Akuifer -- 49
Gambar 6.2 Proses Irigasi Permukaan -- 52 Gambar 6.3 Skema Proses Irigasi Permukaan -- 53 Gambar 6.4 Kontinyuitas Aliran Tak Tunak *(Unsteady)* -- 54 Gambar 6.5 Gambaran Se derhana Energi pada Al iran *(U nst eady)* -- 56

Gambar 6.6 Contoh Irigasi Genangan -- 60
Gambar 6.7 Penampang Irigasi Alur -- 62
Gambar 6.8 Penampang Lahan Surjan -- 64
Gambar 6.9 Komponen Irigasi *Sprinkle* -- 65
Gambar 6.10 Contoh Pencurah -- 66
Gambar 6.11 Variasi Pola Distribusi *Sprinkle* Tunggal Terhadap Tekanan -- 69
Gambar 6.12 Pola Pemasangan *Sprinkle* -- 70
Gambar 6.13 Bagian-Bagian *Tricle* -- 72
Gambar 6.14 Skema Sistem NFT yang Dilengkapi Sistem Pendingin -- 76
Gambar 6.15 Skema Sistem FHS -- 77
Gambar 6.16 Sistem Irigasi Pasang Surut pada Hidroponik Substrat -- 80
Gambar 6.17 Skema Sistem Aeroponik -- 81
Gambar 7.1 Saluran-Saluran Primer dan Sekunder -- 88
Gambar 7.2 Standar Sistem Tata Nama untuk Skema Irigasi -- 98
Gambar 7.3 Standar Sistem Tata Nama untuk Bangunan-Bangunan Irigasi -- 99
Gambar 8.1 Hubungan Timbal Balik Antara Berbagai Taraf Termasuk Pembuatan Rencana Induk -- 109
Gambar 8.2 Urut-Urutan Kegiatan Proyek -- 111
Gambar 8.3 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi dan Perencanaan -- 113
Gambar 8.4 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi dan Perencanaan (Lanjutan) -- 114
Gambar 8.5 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi dan Perencanaan (Lanjutan) -- 115
Gambar 8.6 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi Detail Desain -- 116
Gambar 8.7 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi Detail Desain (Lanjutan) -- 117

1 PENGERTIAN IRIGASI DAN PENGAIRAN

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

Menjelaskan Takrif Irigasi

Menjelaskan Pokok-pokok Pembelajaran Irigasi

3.1 Takrif Irigasi

Sistem irigasi di Indonesia telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu atau bahkan sejak lebih dari 1000 tahun yang lalu. Van Setten van der Meer (1979) mengatakan bahwa masyarakat petani di Jawa Barat telah mengenal sistem hidraulika sejak abad ke-5, sehingga dapat membangun suatu saluran pengelak banjir sepanjang kurang lebih 10 km di muara Sungai Citarum dekat Jakarta. Dengan pengenalan teknik hidraulika tersebut tentunya juga masyarakat telah mengenal sistem jaringan irigasi yang teratur.

Sistem irigasi telah dikenal di Jawa Tengah sejak abad ke-9 sedangkan di Jawa Timur diperkirakan ada sistem irigasi sejak abad ke-8. Saat ini diperkirakan luas sawah beririgasi di Indonesia sekitar 6 juta ha, tersebar di seluruh Indonesia. Dari fakta sejarah tersebut terbukti bahwa Indonesia pun masih membutuhkan sistem irigasi meskipun terletak di kawasan beriklim tropis basah

dengan karakteristik hujan yang tinggi pada beberapa bulan di musim penghujan dan bulan-bulan kering. Mengapa orang di daerah tropis seperti Indonesia masih membutuhkan irigasi? Dan apakah sebetulnya yang disebut irigasi tersebut?

Irigasi dibutuhkan orang untuk beberapa fungsi. Fungsi pertama adalah untuk menambah air atau lengas tanah ke dalam tanah untuk memasok kebutuhan air bagi pertumbuhan tanaman. Kemudian air irigasi juga dipakai untuk menjamin ketersediaan air/lengas apabila terjadi betatan (*dry spell*), menurunkan suhu tanah, pelarut garam-garam dalam tanah, untuk mengurangi kerusakan karena *frost* (jamur upas), untuk melunakkan lapis keras tanah (*hard pan*) dalam pengolahan tanah. Apabila disebutkan tentang sistem irigasi bayangan orang selalu dibawa pada suatu bangunan fisik berupa bendung, dam, ataupun saluran yang membawa air untuk mengairi tanaman. Namun orang selalu lupa bahwa agar bangunan tersebut dapat beroperasi dengan benar maka diperlukan pula manusia yang mengoperasikan pintu-pintu, membersihkan sampah dari dalam saluran, atau membagikan air dengan adil pada saat kekurangan air. Oleh sebab itu, perlu ditakrifkan apa arti irigasi dan sistem irigasi itu.

Secara harfiah, Israelsen dan Hansen (1980) mentakrifkan irigasi sebagai:

Irigasi adalah proses penambahan air untuk memenuhi lengas tanah yang sangat berguna bagi pertumbuhan tanaman.

Kata memenuhi lengas berarti juga untuk menambah lengas tanah yang berasal dari alam. Di daerah tropis seperti di Indonesia ini masukan lengas alami sebagian besar berasal dari hujan, luapan sungai, ataupun gerakan muka air tanah. Dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 20/2006 tentang Irigasi, yang merupakan bentuk legal untuk pengaturan tentang irigasi disebutkan bahwa irigasi ditakrifkan sebagai berikut:

Irigasi adalah usaha penyediaan, pengaturan dan pembuangan air untuk menunjang pertanian yang jenisnya meliputi irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa, dan tambak.

Pengertian tentang irigasi tersebut juga mencakup bahwa dalam suatu daerah irigasi terdiri pula atas adanya fasilitas drainase yaitu suatu proses pengatusan apabila telah terjadi kelebihan air. Takrif lain tentang irigasi juga diberikan oleh Small dan Svendsen (1992), dikatakan bahwa irigasi adalah:

Tindakan intervensi manusia untuk mengubah tagihan air dari sumbernya menurut ruang dan waktu serta mengelola sebagian atau seluruh jumlah tersebut untuk menaikkan produksi tanaman.

Dari takrif-takrif tersebut di atas dapat dimengerti bahwa irigasi merupakan suatu proses manipulasi sumberdaya air yang dilakukan manusia untuk dengan tujuan untuk meningkatkan manfaat (produksi tanaman) pada suatu budaya pertanian sesuai dengan kebutuhan manusia. Takrif yang diberikan oleh Small dan Svendsen (1992) ini juga menyebutkan tentang pentingnya peranan manusia dalam irigasi. Takrif tentang irigasi tersebut juga memberikan pengertian kepada kita bahwa irigasi merupakan suatu proses untuk mengalirkan air dari suatu sumber air ke sistem pertanaman. Beberapa pertanyaan selanjutnya akan muncul (i) bagaimana air tersebut dapat dialirkan, (ii) berapa jumlah dan bagaimana air tersebut akan diberikan pada tanaman,

3. apakah jumlah air yang diberikan tersebut sama untuk setiap pertumbuhan tanaman, dan (iv) bagaimana kalau air tersebut berlebih sehingga mengganggu pertumbuhan tanaman.

Keempat pertanyaan tersebut akan saling berkaitan dan jawabannya akan membentuk rangkaian sistem pengaliran air irigasi yang dibutuhkan tanaman sehingga dapat memproduksi hasil sesuai dengan yang dibutuhkan oleh manusia. Pertanyaaan pertama akan menuntun kita untuk mempelajari perancangan sistem pengaliran air dari sumber ke petak tanaman. Pertanyaan

kedua dan ketiga akan membimbing kita untuk mempelajari kebutuhan air tanaman dan perancangan sistem pemberian air ke petak. Jawaban pertanyaan keempat akan dipakai untuk mempelajari perancangan sistem pengatusan atau sistem drainase. Rangkaian sistem irigasi sebagai suatu proses pengaliran air dari sumber ke tanaman akan dipelajari dalam mata kuliah **Azas dan Teknik Irigasi dan Drainase**. Bahasan irigasi sebagai suatu sistem manajemen yang melibatkan manusia dan institusi pengelola irigasi akan dibahas dalam mata kuliah **Manajemen Sistem Irigasi**.

Untuk dapat mempelajari irigasi sebagai suatu proses pengaliran air untuk tanaman tentu saja akan sangat berkaitan erat dengan pengetahuan-pengetahuan lain yang mungkin telah dibahas dalam beberapa matakuliah. Pengetahuan-pengetahuan tersebut adalah: hidroklimatologi, fisika tanah, hubungan tanah, air, dan tanaman, mekanika fluida, dan hidrolika, pemetaan, dan matematika dasar serta statistika.

Apabila mahasiswa akan mengembangkan lebih lanjut pengetahuannya untuk dapat mengembangkan model-model matematika dalam perancangan dan analisis sistem saluran dan pemberian tanaman dengan hampiran aliran tak tunak dan tak seragam (*unsteady and non-uniform flow*) maka dibutuhkan tambahan pengetahuan matematika terapan, analisis numerik, dan penyusunan program komputer. Pengembangan model-model matematika ini terutama akan dibahas sebagai tugas akhir mahasiswa baik Strata-1 maupun Strata-2

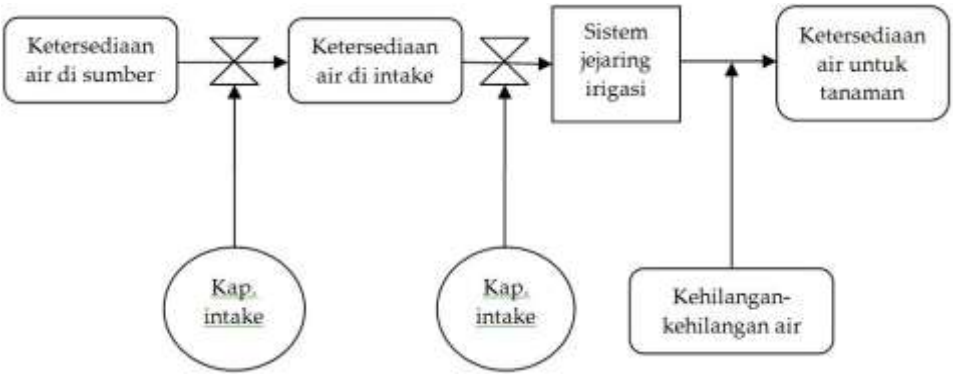
Pengetahuan dasar tentang irigasi ini melalui suatu proses pembelajaran dalam matakuliah Azas dan Teknik Irigasi dan Drainase sehingga diharapkan mahasiswa akan dapat mengembangkan lebih lanjut pengetahuannya untuk meneliti hubungan antara tanaman, tanah sebagai media tanam, klimat, dan pemberian air. Beberapa masalah dalam kaitan dengan irigasi yang sedang menjadi isu dalam percaturan masyarakat seperti efek kekeringan, masalah banjir dan drainase terhadap pertumbuhan tanaman, modifikasi cuaca, pengembangan rekayasa media tanam dll. Akan dapat dipelajari dalam mata kuliah Azas dan

Teknik Irigasi dan drainase ini. Pengetahuan tentang efek pertumbuhan tanaman dalam beberapa modifikasi media tanam, cuaca, dan pemberian air dapat ditirukan dalam bentuk-bentuk model-model matematika dasar. Dengan demikian mahasiswa yang mempelajari mata kuliah Azas dan Teknik Irigasi dan drainase akan dapat merancang dasar-dasar rekayasa sistem pengaliran untuk tanaman.

1.2 Pokok-pokok Pembelajaran

Dari takrif tentang irigasi di atas dapat diketahui bahwa irigasi merupakan suatu proses yang berkeseimbangan antara pasok dengan masukan air yang saling berhubungan. Proses pertama adalah proses pengambilan air dari sumber untuk kemudian dimasukkan ke dalam sistem saluran. Kemudian berturut-turut adalah proses pengaliran air di saluran, membagi air ke dalam petak, memberikan pada tanaman dan terakhir membuang kelebihan air ke sistem saluran pengatus.

Agar dapat mengetahui azas keseimbangan yang bekerja dalam sistem maka diperlukan beberapa masukan maupun luaran air dari sistem proses. Secara keseluruhan maka masukan air akan tergantung pada ketersediaan air di sumber sedangkan luaran air akan tergantung pada kebutuhan air tanaman dan kehilangan-kehilangan air akibat adanya bocoran saluran, kehilangan karena manajemen, evaporasi, maupun susupan dan perkolasi. Secara sederhana sistem irigasi sebagai suatu proses pengambilan dan pengaliran air diabstraksikan pada:



Gambar 1.1. Abstraksi Sistem Irigasi Sebagai Proses Pengembilan Dan Pengaliran Air

Agar dapat menentukan kebutuhan air tanaman dan bagaimana dapat menyediakan air untuk tanaman di petak maka diperlukan pengetahuan tentang bagaimana hubungan air, tanah dan tanaman. Pokok bahasan ini akan diberikan dalam minggu kedua dengan bahasan-bahasan: tekstur dan struktur tanah, infiltrasi, permeabilitas, pengukuran lengas tanah, dan ketersediaan lengas tanah untuk tanaman. Pemahaman tentang sifat fisik tanah yang dinyatakan dengan tekstur, struktur, dan permeabilitas tanah menuntuk pada pemahaman tentang karakteristik air/lengas serta keberadaannya di dalam tanah.

Proses infiltrasi dan juga perkolasi akan memberikan pemahaman tentang bagaimana tanah mempunyai kapasitas untuk dapat menyediakan air bagi tanaman, serta menghitung kapasitas maksimum ketersediaan air/lengas tanah. Pokok bahasan ini juga akan mendiskusikan tentang bagaimana caa mengukur lengas tanah melalui beberapa cara baru. Pokok bahasan ini akan diberikan pada minggu ketiga.

Penentuan kebutuhan air tanaman serta bentuk-bentuk kehilangan-kehilangan air selama proses pengaliran akan dibahas dalam minggu ketiga. Dalam pokok bahasan ini akan didiskusikan bagaimana menghitung kebutuhan air tanaman baik secara langsung maupun secara empiris dengan menghitungnya melalui data cuaca dan klimatik. Pada penentuan formula-formula empiris ini akan dibahas tentang faktor-faktor

yang mempengaruhi proses evapotranspirasi, pengaruh-pengaruh aerodinamika dan thermodinamika dalam kese-imbangan energi surya pada proses evapotranspirasi serta penyusunan formula-formula untuk menghitung evapotranspirasi. Dalam pokok bahasan ini juga akan didiskusikan tentang kehilangan air di sistem saluran dan petak, penentuan efisiensi irigasi, serta ketersediaan hujan atau hujan efektif.

Setelah membahas tentang kebutuhan air tanaman maka empat minggu berikutnya dipelajari tentang teknik-teknik irigasi. Melalui pokok bahasan ini dipelajari bagaimana air irigasi dipasok pada tanaman ada empat metode pemberian air yang akan dibahas yaitu teknik irigasi (i) permukaan meliputi luapan, genangan, dan alur, (ii) tetes, (iii) curah. Pembahasan akan menitikberatkan pada azas perancangan yang disesuaikan dengan kegunaan, sistem budidaya tanaman, lahan, dan klimat. Bahasan juga akan dilanjutkan dengan pengenalan beberapa sistem budaya tanam seperti (i) sistem irigasi surjan meliputi kegunaan, keuntungan dan kerugiannya, serta dasar-dasar perancangannya, (ii) hidroponik, (iii) aeroponik, dan (iv) sistem irigasi pompa air tanah.

Pada pertemuan setelah melakukan ujian tengah semester, maka akan dibahas dan didiskusikan tentang masalah drainase pertanian meliputi kerugian yang timbul akibat adanya air berlebih pada sistem budidaya tanaman, cara-cara penentuan kriteria lahan dengan masalah drainase, serta formula rancangan sistem drainase untuk tanaman padi. Pokok bahasan tentang drainase pertanian akan dibahas selama dua minggu. Pokok bahasan selanjutnya akan dilanjutkan dengan pengenalan terhadap sistem jejaring irigasi. Akan dibahas tentang sistem saluran beserta bangunan-bangunannya. Selama dua minggu proses pembelajaran akan mendiskusikan sistem perancangan dasar sistem saluran beserta faktor-faktor rancangan beserta bangunan-bangunan irigasi yang akan dibahas adalah sistem irigasi berbasis padi. Juga akan dibahas pada minggu berikutnya pengukuran air dengan *current meter*, pelampung, dan bangunan ukur ambang tajam, ambang lebar, dan *flume* serta pintu *romijn*.

2 HUBUNGAN SALING PENGARUH ANTARA TANAH, AIR, UDARA, DAN TANAMAN

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

- Menjelaskan Pengertian Tanah
- Menjelaskan Pengertian Air dalam Tanah
- Menjelaskan Pengertian Lengas Tanah
- Menjelaskan Pengertian Bentuk Lengas
- Menjelaskan Pengertian Konstanta Lengas
- Menjelaskan Pengertian Zona Perakaran
- Menjelaskan Pengertian Kesuburan Tanah
- Menjelaskan Pengertian Kebutuhan Air Tanaman
- Menjelaskan Pengertian Gerakan Lengas dalam Tanah

3.1 Pengantar

Keanekaragaman jenis tumbuh tumbuhan menunjukkan adanya pengaruh iklim yang kompleks. Jenis tumbuh tumbuhan di daerah tropis berbeda dengan jenis tumbuh tumbuhan di daerah beriklim dingin. Tetapi dengan nyata dapat diketahui bahwa air mempunyai peranan sangat penting bagi tanaman, lagi pula tanaman selalu membutuhkan tempat tumbuh. Dalam pembicaraan irigasi tempat tumbuh tanaman adalah tanah. Tanah

yang baik untuk usaha pertanian adalah tanah yang mudah dikerjakan dan bersifat produktif suatu jenis tanah yang subur memberi kesempatan pada akar tanaman untuk tumbuh dengan mudah, menjamin sirkulasi air dan udara secara baik pada zona perakaran dan secara relatif memiliki persediaan kelembaban tanah yang cukup. Tanah tersusun dari bahan bahan mineral dan bahan bahan organik, apabila sebagian besar tersusun dari bahan mineral tanah disebut tanah mineral, tetapi bila sebagian besar tersusun dari bahan organik tanah disebut tanah organik.

Ditinjau dari asalnya tanah dapat berasal dari pelapukan kulit bumi baik secara khemis maupun secara phisis dan selama masa pembentukannya mendapat pengaruh dari tanaman. Kita mengenal juga tanah endapan aeolian (*loess*) yang merupakan jenis tanah hasil pengendapan oleh angin. Tanah hasil pengendapan oleh air sepanjang jalur alirannya disebut tanah alluvial. Tanah bagian atas yang sering mengalami usaha usaha pengerjaan tanah misalnya pembajakan atau pencangkulan, umum disebut topsoil atau tanah permukaan (*surface soil*) dan tanah di bawahnya disebut subsoil.

2.2 Tanah

Komposisi tanah untuk kepentingan usaha pertanian umumnya berupa tanah mineral dengan kandungan bahan organik atau humus relatif sedikit. Udara dan air yang mengisi pori pori diantara butir butir tanah umumnya dipandang merupakan sebagian dari tanah, jadi yang disebut tanah sebetulnya terdiri dari tiga komponen yaitu butir tanah, air dan udara. Kandungan air dan udara dalam tanah jumlahnya berubah ubah tetapi butir butir tanah relatif tetap. Butir butir tanah mineral diklasifikasikan sebagai pasir, lumpur ataupun lempung menurut besarnya ukuran butir. Perbandingan antara bagian bagian yang berupa butir tanah air dan udara merupakan faktor penting yang mempengaruhi kehidupan dan pertumbuhan tanaman.

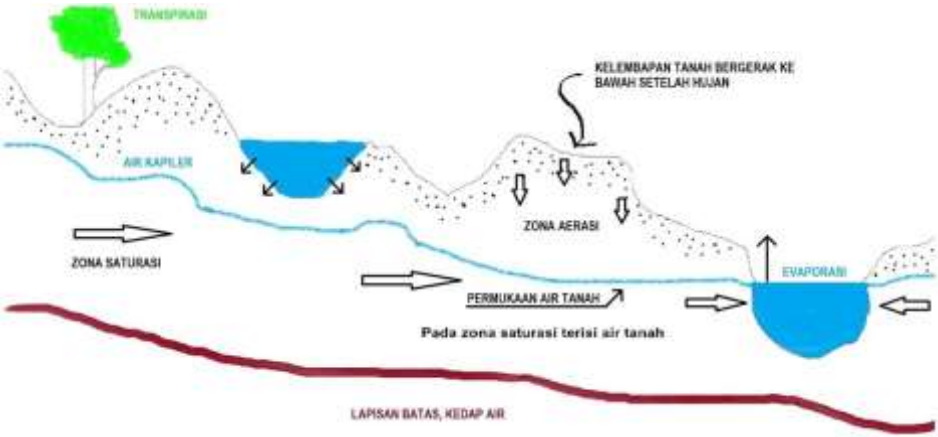
Gambar 2.1 Komposisi Tanah

Supaya penyerapan hara dapat lancar dan tanaman dapat hidup dengan baik maka perbandingan butir, air dan udara perlu dibuat memenuhi suatu harga dalam batas batas tertentu dan yang umum dilakukan untuk pengaturan kadar air dan udara dalam tanah adalah pembuatan sistem irigasi dan drainase. Pada saat kadar air kurang maka saluran pemberi memberikan air dan pada saat kelebihan air maka saluran drainase berfungsi mengalirkan air kelebihan keluar areal pertanian.

2.3 Air dalam Tanah

Air dalam tanah dapat dilukiskan sebagai ilustrasi skematis pada Gambar 2.2. Di bawah permukaan tanah pori pori tanah mengandung air dan udara dalam jumlah yang berubah ubah. Sesudah hujan air dapat bergerak ke bawah melalui zona aerasi dan sebagian air itu mengisi pori pori yang kecil serta tetap tinggal di situ ditahan oleh gaya gaya kapiler ataupun oleh gaya gaya tarik molekuler di sekeliling butir butir tanah.

Air yang berada pada lapisan atas dari zona aerasi disebut lengas tanah. Apabila kapasitas menahan air tanah pada zona aerasi telah dipenuhi, air akan bergerak kebawah menuju zona saturasi dan air pada zona saturasi disebut air tanah. Di atas zona saturasi terdapat air kapiler, di dalam gambar ditunjukkan dengan de-retan garis garis vertikal. Air pada daerah kapiler ini mengisi ruang ruang pori yang kecil dan dapat berasal dari air tanah yang terangkat oleh gaya gaya kapiler.



Gambar 2.2. Ilustrasi Air di dalam Tanah

2.4 Lengas Tanah

Karena pemeliharaan lengas tanah pada areal irigasi merupakan faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan usaha pertanian maka perlu meninjau lengas tanah lebih terperinci. Karena tanaman memerlukan air maka pada zona perakaran perlu tersedia lengas tanah yang cukup. Walaupun kelembaban tanah perlu dipelihara tetapi tidak boleh diberikan air terlampau berlebihan. Padi adalah satu jenis tanaman yang tahan terhadap penggenangan, tetapi misalnya kedelai akan mati bila terlalu banyak air dan beberapa jenis tanaman lain tidak tahan terhadap lengas tanah yang terlampau tinggi. Apabila terlalu. banyak air diberikan pada suatu areal pertanian tanaman dapat terganggu akibat kekurangan oksigen sehingga produksi tidak baik. Pada suatu areal yang tidak memiliki sistem drainase baik, pemberian air secara berlebihan akan menaikkan permukaan air tanah dan apabila pemberian air berlebihan tersebut berlangsung terus menerus maka permukaan air tanah bisa memasuki zona perakaran dan sebagian akar menjadi busuk.

Kondisi lengas tanah yang dikehendaki dalam suatu areal irigasi dilihat kaitannya dengan jumlah lengas yang dapat diambil oleh akar tanaman dan dipakai untuk pertumbuhan tanaman. Jumlah lengas yang bisa dimanfaatkan tanaman tersebut terbatas disatu segi oleh volume ruang ruang pori diantara butir tanah

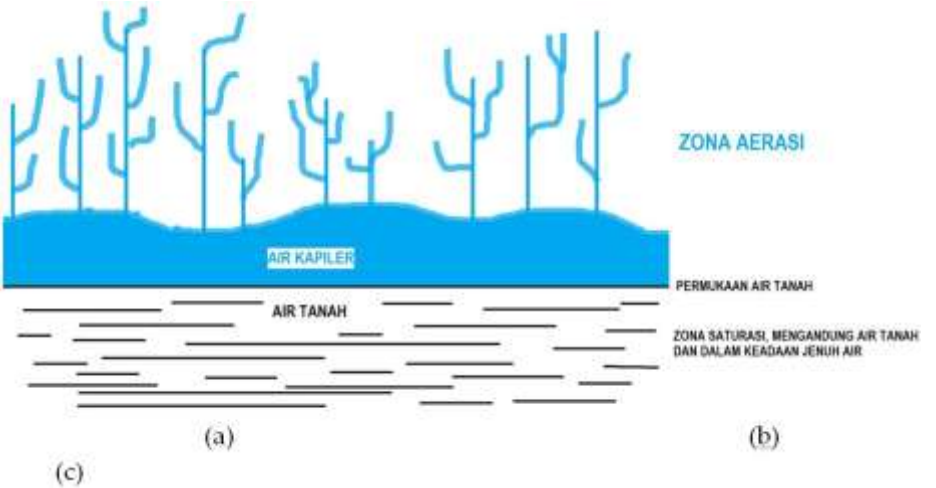
dan pada segi lain terbatas oleh gaya tarik butir butir yang memegang suatu lapis tipis air sekeliling butir sedemikian kuat sehingga akar tidak mampu menyerap air tersebut. Apabila ruang ruang pori antara butir butir tanah penuh air, tanah dikatakan dalam keadaan jenuh dan kondisi jenuh ini selalu dijumpai pada tanah di bawah permukaan air tanah yaitu pada zona saturasi. Keadaan jenuh ini umumnya tidak terjadi pada zona aerasi, dan apabila terjadi umumnya hanya pada suatu daerah tipis di bawah permukaan tanah pada saat segera sesudah pemberian air irigasi atau sesudah hujan.

Pada areal yang mempunyai sistem drainase baik, keadaan jenuh pada zona perakaran bisa ditiadakan oleh perkolasi sebelum timbul gangguan yang berarti pada tanaman. Dalam pembicarann irigasi, terdapat dua sifat penting dalam kaitannya dengan lengas tanah, yaitu kapasitas lapang dan titik layu permanen. Air yang tersedia untuk tanaman dipandang sebagai jumlah air di antara nilai kapasitas lapang dan nilai titik layu permanen.

2.5 Bentuk Lengas Tanah

Bentuk lengas tanah secara umum diklasifikasikan sebagai:
3. air gravitasi (2) air kapiler dan (3) air higroskopis. Air gravitasi kadang kadang disebut air hidrostatis atau air bebas merupakan air yang merembes kebawah di antara pori pori akibat gaya gravitasi dan sebagian besar tidak melewati pori pori kapiler. Air gravitasi ini dapat diserap oleh akar tanaman tetapi hanya tersedia pada periode singkat karena air gravitasi tersebut hanya lewat, bukan merupakan penghuni pada zona perakaran. Air kapiler merupakan bagian air dalam tanah yang terpegang pada pori-pori oleh gaya kapiler, dapat bergerak bebas kesegala arah tergantung pada tegangan tegangan kapiler yang bekerja, tetapi gerakan air kapiler tetap masih dipengaruhi gaya gravitasi. Air kapiler merupakan titik titik air yang mengisi pori pori kapiler, dan kadang kadang titik titik air kapiler membentuk suatu rantai yang mengisi rangkaian pori kapiler maka rangkaian pori kapiler itu disebut pipa pipa kapiler. Air kapiler ini dapat diserap oleh akar tanaman jadi juga merupakan air yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Tetapi air higroskopis tidak dapat diserap oleh

tanaman kecuali oleh beberapa jenis tanaman gurun. Jumlah air higroskopis ini umumnya sedikit kurang dari satu persen walaupun bisa mencapai nilai 15 % pada tanah lempung tertentu. Jumlah air dalam tanah biasa dinyatakan sebagai persentase terhadap berat tanah kering dengan oven (air diuapkan). Kadang kadang orang membicarakan bentuk lengas yang ke-empat yaitu kandungan air dalam senyawa kimiawi, jadi air terpegang tanah bukan oleh gaya phisik dan bentuk lengas ini disebut air tercampur ("*combined water*"). Tetapi air ini tidak penting dalam konteks irigasi.



Gambar 2.3. Bentuk Lengas Dalam Tanah

Gambar 2.3 secara sketsa memberi ilustrasi mengenai posisi air dalam tanah menurut bentuknya. Pada Gambar 2.3 (a) dapat dilihat pori pori antara butir butir tanah yang dilewati air gravitasi dan daerah di atas permukaan zona kapiler disebut zona aerasi. Permukaan zona kapiler itu sesungguhnya tidak merupakan garis lurus dan Gambar 2.3 (c) menunjukkan sketsa detail posisi air kapiler di atas permukaan air tanah pada zona kapiler.

2.6 Konstanta lengas tanah

Dalam pembicaraan lengas tanah lebih lanjut kita akan mene-mui istilah istilah yang disebut konstanta lengas tanah. Istilah yang sering dijumpai antara lain (1) kapasitas kejenuhan

(*saturation capacity*), (2) kapasitas lapang, (3) lengas ekivalen,
3. titik layu permanen, (5) titik layu akhir (*ultimate wilting point*),
3. koefisien higroskopis. Harga dari konstanta lengas pada kenyataannya tidaklah tetap, karena tanah dalam suatu areal irigasi juga tidak berada pada kondisi tetap dan seragam tetapi baik tekstur maupun komposisinya memang bervariasi. Dengan maksud bisa memberikan gambaran mengenai lengas tanah maka konstanta lengas tanah perlu diutarakan.

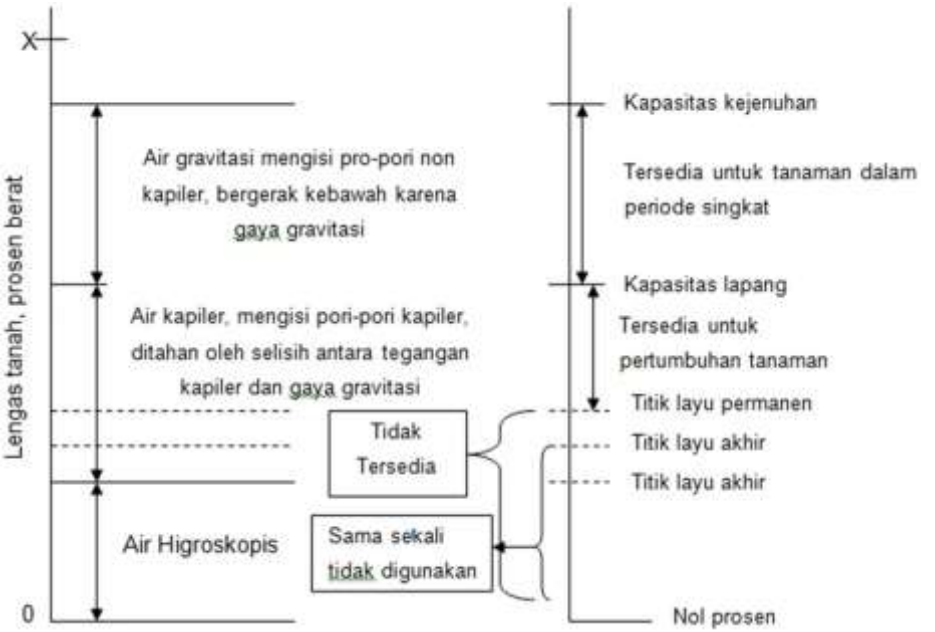
3. Kapasitas kejenuhan merupakan jumlah air yang dibutuhkan untuk mengisi seluruh ruang pori antara butir butir tanah, jadi merupakan batas atas dari kelembaban tanah yang mungkin dicapai. Untuk membuat tanah menjadi jenuh air maka semua udara yang berada pada ruang pori harus dikeluarkan dan diganti dengan air. Kapasitas kejenuhan ini sering dipandang sebagai kapasitas menahan kelembaban tanah maximum. Tanah permukaan sering dikatakan dalam keadaan jenuh air pada saat diairi atau pada saat hujan yang berlangsung lama, tetapi sesungguhnya udara pada pori tanah tidak seluruhnya diganti oleh air dan keadaan umum dialam menunjukkan bahwa volume pori yang tetap ditempati udara harganya berkisar antara 5% pada tanah yang dikatakan jenuh tadi. Apabila porositas tanah diketahui, maka kapasitas kejenuhan dapat dinyatakan sebagai kedalaman air ekivalen dalam satuan inci untuk tiap satu foot kedalaman tanah. Misal porositas 50% maka lengas tanah untuk tiap foot kedalaman tanah ekivalen dengan kedalaman air 6 inci (porositas 50%, dihitung berdasar volume). Selain dengan kedalaman air ekivalen, kapasitas kejenuhan sering dinyatakan dalam persentase berat terhadap tanah kering.
4. Kapasitas lapang merupakan harga maksimum air kapiler yang dapat ditahan pada kondisi drainase bebas di zona perakaran, pada satu keadaan muka air tanah cukup dalam sehingga lengas tanah dari zona saturasi tidak bisa tertarik kedaerah zona perakaran.

Harga kapasitas lapang ini merupakan persentase lengas yang tetap berada pada tanah pada saat perkolasi dari tanah permukaan yang jenuh air berhenti. Secara praktis dapat dianggap bahwa kekuatan yang menahan air pada kapasitas lapang ini adalah kelebihan tegangan kapiler terhadap kekuatan gravitasi. Kapasitas lapang sering juga disebut kapasitas menahan kelembaban efektif (*effective water holding capacity*). Pada keadaan kapasitas lapang, volume udara dan volume air pada pori pori tanah hampir sama dan untuk sebagian besar jenis tanaman pertanian apabila perhitungan didasarkan pada volume maka dikehendaki bahwa kapasitas lapang jangan kurang dari 1/3 tetapi jangan lebih dari 2/3 dari kapasitas kejenuhan.

3. Lengas ekivalen merupakan konstanta lengas tanah yang penentuannya dilakukan di laboratorium dan digunakan sebagai harga perkiraan dari kapasitas lapang. Secara singkat merupakan persentase lengas dari suatu contoh tanah basah pada kedalaman 3/8 inci dan bisa tetap terpegang dalam tanah pada saat mengalami gaya sentrifugal sebesar 1000 kali gaya gravitasi umumnya dalam periode 30 menit.
4. Titik layu permanen merupakan jumlah lengas pada keadaan tanaman menjadi layu permanen pertama kali, yaitu harga lengas tanah di bawah harga itu air tidak dapat lagi diambil cukup cepat untuk mengimbangi kebutuhan transpirasi. Tambahan air perlu selalu diberikan sebelum titik layu ini dicapai, agar pertumbuhan tanaman dapat terjamin.
5. Titik layu akhir merupakan harga lengas pada saat tanaman layu seluruhnya. Pada saat dicapai titik layu permanen tanaman mulai layu, tetapi akar tanaman masih mampu menyerap sebagian kecil air untuk mempertahankan hidupnya mungkin sampai diberi tambahan air irigasi tanaman masih tetap hidup. Tetapi apabila mulai layu dan proses itu berlangsung terus tanpa mendapat tambahan air irigasi akhirnya seluruh bagian tanaman itu layu, dan pada saat inilah tercapai titik layu akhir. Harga antara titik layu permanen dan titik layu akhir disebut interval kelayuan (*wilting range*).

3. Koefisien higroskopis menunjukkan harga maximum air higroskopis yang dapat terkandung dalam tanah. Koefisien higroskopis ini memberi petunjuk akan jumlah lumpur koloidal pada tanah, dan secara umum harga koefisien higroskopis sekitar 2/3 dari titik layu permanen. Tetapi koefisien higroskopis ini tidak terlalu penting dalam mempertimbangkan kesesuaian tanah untuk usaha pertanian.

Gambar 2.4 menunjukkan bentuk lengas tanah dan sifat sifatnya ditinjau dari kepentingan irigasi, perlu diingat bahwa harga-harga batas dipengaruhi jenis tanah dan sebagian dipengaruhi jenis tanaman.



Gambar 2.4. Bentuk Lengas Tanah

Frekuensi penambahan air irigasi untuk tanaman dipengaruhi oleh daya penahan kelembaban tanah (*water holding capacity*). Faktor faktor yang mempengaruhi daya penahan kelembaban tanah adalah tekstur, struktur dan bahan bahan organik yang terkandung dalam tanah. Unsur penentu tekstur adalah ukuran butir-butir dan unsur penentu struktur adalah susunan butir-butir.

Struktur tanah yang baik berpengaruh pada produktivitas dan perlu diperhatikan bahwa struktur tanah bisa rusak oleh berbagai sebab misalnya oleh pemadatan akibat penggunaan mesin pengolah tanah yang tidak sesuai, kekeliruan pengolahan dan mungkin juga akibat cara irigasi dan drainase yang tidak baik. Selain perlu memperhatikan frekuensi pemberian air, pada daerah tertentu justru sangat penting memperhatikan masalah drainase. Untuk tanah yang kurang baik drainasenya sebagai contoh, dapat timbul masalah racun bagi tanaman padi. Dalam keadaan tergenang dan kekurangan oxygen dalam tanah, ion sulfat akan mereduksi menjadi sulfida dalam bentuk H_2S dan H_2S dalam konsentrasi 0,1 ppm. saja telah mampu meracun tanaman padi.

2.7 Zona perakaran

Dalamnya zona perakaran dipengaruhi beberapa faktor, yaitu
3. tekstur tanah, (2) formasi subsoil, (3) dalamnya permukaan air tanah, (4) jumlah lengas yang tersedia.

5. Tekstur memang berpengaruh, bisa diketahui bahwa akar tanaman lebih mudah menembus tanah pasir dari pada menembus tanah lempung.
6. Formasi subsoil jelas pengaruhnya, misal tanah cadas tentu saja merintangi penembusan oleh akar tanaman.
7. Permukaan air tanah yang terletak cukup tinggi dekat permukaan akan menghalangi pertumbuhan akar kebawah, akar cenderung menyebar pada lapisan tanah bagian atas diatas permukaan air tanah.
8. Akar tidak akan dapat tumbuh baik pada tanah yang kering dan penyediaan lengas tanah yang cukup selama masa pertumbuhan tanaman sangat penting, penyediaan lengas tanah dapat dari saluran pemberi tetapi dapat juga dari curah hujan.

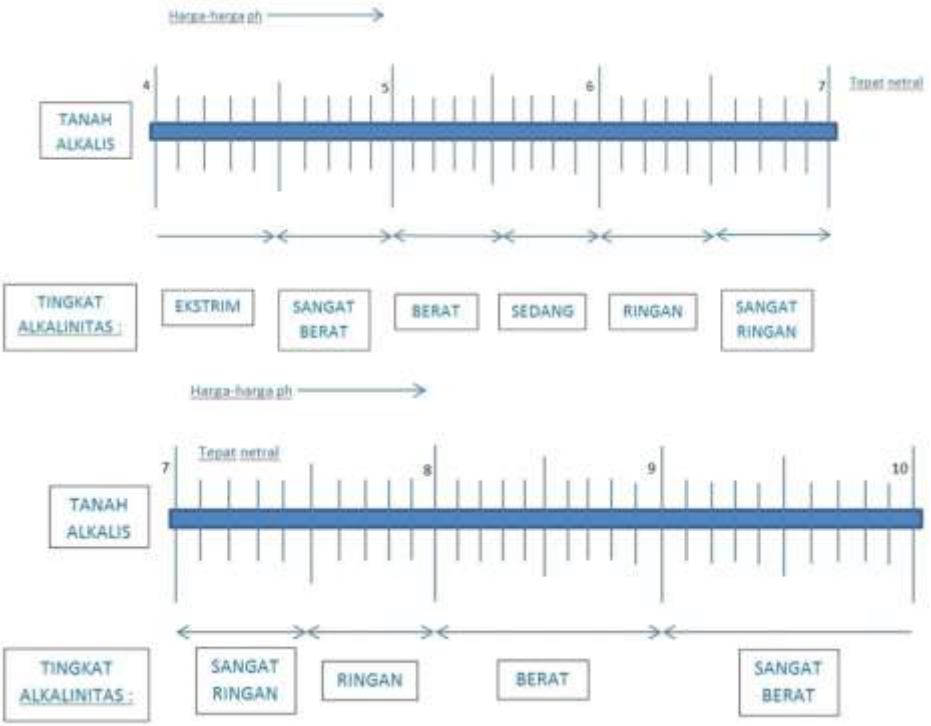
Kedalaman efektif zona perakaran untuk beberapa jenis tanaman sebagai harga pendekatan adalah (1) padi, 60-90 cm,
5. tembakau, 30-60 cm, (3) jagung, 130-190 cm, (4) tebu, 130-160 cm,
5. kacang tanah, 130 cm.

2.8 Kesuburan tanah

Hubungan tanah dengan tanaman selain dipengaruhi tekstur dan struktur perlu pula memperhatikan kesuburan tanah dan reaksi kimiawi yang dapat terjadi. Kesuburan fisik memang ditentukan oleh struktur tanah tetapi kesuburan kimiawi ditentukan oleh kemampuan tanah menyediakan unsur hara dalam jumlah yang cukup dan seimbang. Dikenal 16 unsur utama yaitu C, H, 0, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, B, Zn, Mo dan Cl. Unsur-unsur C, H dan 0 diambil oleh tanaman dari udara dan air sedangkan unsur-unsur N, S, P, K, Ca dan Mg biasa disebut unsur-unsur makro, sisanya merupakan unsur-unsur mikro. Apabila tanaman kekurangan beberapa unsur tertentu yang dibutuhkan tanaman, berarti hidup dan tumbuhnya tanaman terganggu. Cara untuk mengatasi kekurangan unsur unsur tertentu umumnya dengan pemupukan. Pupuk dalam hal ini bertujuan menambah unsur hara, tetapi pemupukan dapat punya tujuan lain misalnya memperbaiki struktur tanah. Jelas di sini bahwa pupuk yang dipergunakan perlu disesuaikan pada kebutuhan menurut analisis kesuburan tanah.

Kesuburan tanah saja belum cukup menjamin berhasilnya usaha pertanian tanpa memperhatikan kemasaman tanah yang sesuai. Kemasaman tanah dinyatakan dengan nilai pH dan pH tanah umumnya antara 3,50-8,00. Salah satu klasifikasi berdasar nilai pH nampak pada Gambar 0.5. Untuk keperluan keperluan praktis harga pH = 6,5-7,5 dikatakan sebagai tanah netral, lebih rendah dari 6,5 disebut masam dan lebih tinggi dari 7,5 disebut alkalis. Harga pH di bawah 4 maupun diatas 10 jelas berpengaruh sangat buruk bagi tanaman, mengakibatkan terjadinya kerusakan.

Selang pH yang baik untuk pertumbuhan tanaman adalah
5. padi 5,00-6,50 (2) jagung 5,50-7,50 (3) ubi kayu dan ubi jalar 5,80-6,50 (4) kentang 4,80-6,50 (5) pisang 6,00-7,50 (6) nenas 5,00-6,50 (7) tebu, 6,00-8,00 (8) tembakau, 5,50-7,50 (9) kelapa, 5,50-7,50 (10) karet 3,50-8,00 (11) kacang tanah 5.30-6,60
5. kedelai 6,00-7,50.



Gambar 2.5. Klasifikasi tanah berdasarkan pH

2.9 Kebutuhan air tanaman

Tanaman memerlukan air dalam jumlah yang berbeda beda menurut macam tanaman dan usia tanaman. Ditinjau dari segi reaksinya terhadap air (*response*), secara garis besar digolongkan menjadi tiga jenis (1) tanaman aquatik, (2) tanaman semi akuatik, misalnya padi sawah, (3) tanaman tanah kering. Kebutuhan air bagi tanaman agak kurang pada permulaan tumbuh dan kebutuhan itu besar pada saat berbunga dan berbuah dan menjadi kurang lagi pada saat buah masak. Pemberian air irigasi perlu disesuaikan dengan usia tanaman, dengan perhatian khusus pada masa-masa kritis. Untuk padi maka pada saat pertumbuhan vegetatif (sejak tumbuh tak termasuk reproduksi), kelembaban tanah yang dipandang baik adalah 30%. Tinggi genangan yang terlampau dalam berpengaruh kurang baik diantaranya menghambat pertumbuhan tunas-tunas anakan, walaupun juga punya pengaruh menekan pertumbuhan rumput pengganggu. Jadi tinggi genangan dipetak sawah perlu diatur.

2.10 Gerakan lengas dalam tanah

Pada waktu pemberian air irigasi atau pada waktu terjadi hujan, air memasuki tanah dengan jalan infiltrasi, sesudah memasuki tanah air bergerak dalam tanah karena pengaruh gaya gravitasi, gaya kapiler maupun oleh pengaruh tekanan hidrostatis dari air yang ada diatas permukaan tanah. Gerakan ke bawah oleh gaya gravitasi dan gaya hidrostatis, umum disebut perkolasi. Gerakan yang disebabkan oleh tegangan tegangan kapiler umum disebut gerakan kapiler, atau aliran kapiler. Gerakan air dalam bentuk uap akibat perbedaan tekanan uap disebut gerakan uap. Infiltrasi, perkolasi dan aliran kapiler ini punya arti penting dalam pekerjaan pekerjaan irigasi. Laju infiltrasi menentukan jumlah air yang bisa memasuki tanah dalam satuan waktu tertentu, sedangkan laju perkolasi menentukan distribusi air yang memasuki tanah berapa bagian terus mengalir ke bawah dan berapa bagian berada pada zona perakaran dalam suatu satuan waktu. Laju perkolasi ini juga menentukan jumlah kehilangan air di saluran melalui rembesan. Aliran kapiler berpengaruh pada jumlah air yang bisa dimanfaatkan oleh tanaman selama masa pertumbuhannya.

Laju jenis-jenis gerakan lengas tanah perlu mendapat perhatian dalam suatu perencanaan irigasi, karena misalnya laju infiltrasi dan laju perkolasi untuk mencapai kedalaman tertentu akan mempengaruhi distribusi dan jumlah air yang perlu diberikan dalam suatu periode.

3 JENIS SUMBER AIR, KETERSEDIAAN AIR

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

Menjelaskan Pengertian Air

Menjelaskan Pengertian Sumber Air

Menjelaskan Pengertian Ketersediaan Air di Indonesia

5.1 Pengertian air

Secara alamiah air merupakan kekayaan alam yang dapat diperbaharui dan mempunyai daya regenerasi yaitu selalu mengalami sirkulasi dan mengikuti daur.

Daur hidrologi diberi batasan sebagai tahapan-tahapan yang dilalui air dari atmosfer, penguapan dari tanah atau laut, kondensasi untuk membentuk awan, presipitasi akumulasi di dalam tanah maupun tubuh air dan menguap kembali.

Menurut undang-undang tentang sumber daya air pada pasal 1, yang dimaksud dengan air adalah semua air yang terdapat pada, diatas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat.

Air adalah salah satu di antara pembawa penyakit yang berasal dari tinja untuk sampai kepada manusia. Supaya air yang masuk ketubuh manusia baik berupa makanan dan minuman tidak menyebabkan penyakit, maka pengolahan air baik berasal dari sumber, jaringan transmisi atau distribusi adalah mutlak diperlukan untuk mencegah terjadinya kontak antara kotoran sebagai sumber penyakit dengan air yang diperlukan.

Air memiliki karakteristik yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia lain, karakteristik tersebut antara lain:

1. Pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan, yakni 00 C (320 F) - 1000 C, air berwujud cair.
2. Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik.
3. Air memerlukan panas yang tinggi pada proses penguapan. Penguapan adalah proses perubahan air menjadi uap air.
4. Air merupakan pelarut yang baik.
5. Air memiliki tegangan permukaan yang tinggi.
6. Air merupakan satu-satunya senyawa yang merenggang ketika membeku.

Air kita perlukan untuk proses hidup dalam tubuh kita, tumbuhan dan juga hewan. Sebagian besar tubuh kita, tumbuhan dan hewan terdiri atas air. Air juga kita perlukan untuk berbagai keperluan rumah tangga, pengairan pertanian, industri, rekreasi dan lain-lain.

Dengan tidak tersedianya air dan sanitasi yang baik, biasanya golongan masyarakat yang berpenghasilan rendah adalah yang paling menderita, karena bukan saja disebabkan oleh kurang adanya pengertian bagaiamana caranya untuk mengurangi pengaruh negatif yang disebabkan untuk tempat tinggal yang tidak memenuhi syarat akibat pengaruh yang melemahkan dari kondisi hidup yang kurang sehat, sehingga mempengaruhi produktivitas dari mereka yang tidak mampu membiayai penyediaan sarana air bersih tersebut.

3.2 Jenis Sumber Air

Sumber air bermacam-macam, ada tiga sumber air yang paling banyak ditemukan, yakni air hujan, air permukaan, dan air tanah.

1. Air Permukaan

Air permukaan adalah air hujan yang mengalir di permukaan bumi. Pada umumnya air permukaan ini mendapat pengotoran selama pengalirannya, misalnya oleh lumpur, batang-batang kayu, daun-daun, dan sebagainya. Air permukaan dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu : (1). Perairan tergenang, dan (2). Badan air mengalir.

2. Air Tanah

Air tanah merupakan air yang berada di bawah permukaan air tanah. Air tanah merupakan sumber utama, tapi bukan satu-satunya sumber air minum. Maka kelayakan air tanah tersebut menjadi persoalan utama. Air tanah adalah air yang keluar dengan sendirinya kepermukaan tanah. Mata air yang berasal dari tanah dalam, hampir tidak terpengaruh oleh musim dan kuantitas/ kualitasnya sama dengan keadaan air dalam (Totok Sutrisno, 2004).

Menurut direktorat penyehatan air Ditjen PPM dan PLP departemen Kesehatan Republik Indonesia (1997), mata air/air tanah adalah air yang berada di dalam tanah untuk memper-olehnya dengan cara menggali/ dibor atau secara alamiah keluar ke permukaan tanah (mata air).

Pada dasarnya, air tanah dapat berasal dari air hujan, baik melalui proses infiltrasi secara langsung maupun tidak langsung dari ais sungai, danau rawa, dan genangan air lainnya. Pada saat infiltrasi kedalam tanah, air permukaan mengalami kontak dengan mineral-mineral yang terdapat didalam tanah dan melarutkannya, sehingga kualitas air mengalami perubahan karena terjadi reaksi kimia. Kadar oksigen yang masuk ke dalam tanah menurun, digantikan oleh karbondioksida yang berasal dari proses biologis, yaitu dekomposisi bahan organik yang terlarut dalam air tanah.

Menurut Totok Sutrisno (2004) air tanah terbagi atas:

1. Air tanah dangkal

   Terjadi karena daya proses peresapan air tanah. Lumpur akan tertahan, demikian pula dengan sebagian bakteri, sehingga air tanah akan jernih, tetapi lebih banyak mengandung zat kimia (garam-garam yang terlarut) karena melalui lapisan tanah yang mempunyai unsur-unsur kimia tertentu untuk masing-masing lapisan tanah. Lapisan tanah di sini berfungsi sebagai penyaring. Air tanah dangkal ini terdapat pada kedalaman 15,00 m. Sebagai sumur air minum, air tanah ini ditinjau dari segi kualitas agak baik. Kuantitas kurang cukup dan tergantung pada musim.

2. Air tanah dalam

   Air tanah dalam terdapat setelah lapis rapat yang pertama. Pengambilan air tanah dalam, tak semudah pada air tanah dangkal. Kualitas dari air tanah dalam lebih baik dari air dangkal, karena penyaringannya lebih sempurna dan bebas dari bakteri.

3. Mata air

   Adalah air tanah yang keluar dengan sendirinya kepermukaan tanah. Mata air yang berasal dari tanah dalam, hampir tidak terpengaruh oleh musim dan kuantitas/ kualitasnya sama dengan keadaan air dalam.

   Menurut direktorat penyehatan air Ditjen PPM dan PLP departemen Kesehatan Republik Indonesia (1997:6) mata air/ air tanah adalah air yang berada di dalam tanah untuk memperolehnya dengan cara menggali/ dibor atau secara alamiah keluar ke permukaan tanah (mata air).

4. Air Hujan

   Hujan terjadi karena penguapan, terutama air pemukaan laut yang naik ke atmosfer dan mengalami pendinginan kemudian jatuh kepermukaan bumi. Proses penguapan tersebut terus berlangsung, misalnya pada saat butiran hujan jatuh ke permukaan bumi, sebagian akan menguap sebelum mencapai permukaan bumi.

Sebagian akan tertahan tanaman-tanaman dan oleh matahari diuapkan kembali ke atmosfer. Air hujan yang sampai di permukaan bumi, akan mengisi cekungan, kubangan dipermukaan bumi dan sebagian akan mengalir pada permukaan bumi (Benyamin, 1997).

3.3 Ketersediaan Air Di Indonesia

Secara nasional, ketersediaan air di Indonesia mencapai 694 milyar meter kubik per tahun. Jumlah ini pada dasarnya adalah potensi yang dapat dimanfaatkan, namun faktanya saat ini baru sekitar 23 persen yang sudah termanfaatkan, dimana hanya sekitar 20 persen yang dimanfaatkan tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan air baku rumah tangga, kota dan industri, 80 persen lainnya dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi. (Hartoyo, 2010)

4 CARA MENENTUKAN KEBUTUHAN AIR BAGI TANAMAN

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

- Menjelaskan Pengertian Metode Blaney-Criddle
- Menjelaskan Pengertian Metode Radiasi
- Menjelaskan Pengertian Metode Penman
- Menjelaskan Pengertian Metode Panci Evaporasi
- Menjelaskan Pengertian Memilih Koefisien Tanaman
- Menjelaskan Pengertian dari Metode-metode Lainnya

6.1 Pendahuluan

Dibicarakan terutama empat metode terkenal untuk pegangan dalam menentukan kebutuhan air bagi tanaman, yaitu perhitungan evapotranspirasi menurut Blaney Criddle, Metode Radiasi, Penman dan Metode Panci Evaporasi. Walaupun demikian beberapa metode lain tetap disinggung sedikit sekadar untuk mendapatkan suatu pandangan yang agak luas, mengenai masalah evapotranspirasi.

Yang disebut evapotranspirasi adalah jumlah dari evaporasi dan transpirasi bersama sama. Evaporasi atau penguapan adalah berubahnya air menjadi uap dan bergeraknya dari permukaan

tanah atau permukaan air ke udara, sedangkan transpirasi merupakan penguapan melalui tanaman. Faktor faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi antara lain suhu udara, suhu air, kecepatan angin, kelembaban udaral tekanan udara, sinar matahari, kelembaban tanah, dan kemungkinan menjadi layu. Karena banyak faktor faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi maka untuk menghitung laju evapotranspirasi dengan rumus rumus sebetulnya sangat sulit. Tetapi karena sulitnya meng-hitung nilai evapotranspirasi dengan rumus rumus, justru banyak penyelidik dalam masalah ini mengutarakan rumus rumus. Terasa kemudian bahwa hasil pengukuran pada suatu tempat tidak cocok untuk digeneralisasikan bagi suatu daerah luas, demikian pula untuk masing masing rumus bisa digunakan, memerlukan data pokok yang berbeda beda akibat adanya perbedaan cara pendekatan pada masalah ini, oleh para peneliti pembuat rumus yang bersangkutan. Jadi penentuan nilai evapotranspirasi berdasarkan pada perhitungan menurut rumus tertentu perlu dengan kesadaran bahwa nilai itu merupakan nilai pendekatan.

Karena mendapatkan hasil pengukuran yang teliti di lapangan sangat sulit, maka metode pendekatan kebutuhan air bagi tanaman itu perlu digunakan dan seringkali dipakai pada suatu kondisi iklim dan agronomi yang berbeda dengan kondisi di tempat rumus yang bersangkutan diformulasikan. Melakukan testing tentang ketelitian rumus yang dipakai pada suatu kondisi baru, memakan waktu dan biaya tidak sedikit dan terasa akan banyak menimbulkan kesulitan-kesulitan baru yang secara praktis sebetulnya tidak perlu. Oleh karena itu FAO memberikan rekomendasi**,** hasil pertemuan di Lebanon (1971) dan Rome (1972). Berdasar rekomendasi itu dibicarakan suatu pedoman tentang cara melakuklan prediksi kebutuhan air bagi tanaman, diambil dari paper FAO dalam masalah irigasi dan drainase no.24 hasil revisi 1977.

Kebutuhan air bagi tanaman didefinisikan sebagai tebal air yang dibutuhkan untuk memenuhi jumlah air yang hilang melalui evapotranspirasi suatu tanaman sehat, tumbuh pada,

areal luas, pada tanah yang menjamin cukup lengas tanah, kesuburan tanah, dan lingkungan hidup tanaman cukup baik sehingga secara potensial tanaman akan berproduksi baik dan harga ini diberi simbol ETcrop. Dari rumus rumus, yang didapat bukan langsung ETcrop tetapi ETo, dan rumus rumus tersebut dimodifikasi berdasarkan keadaan iklim rata rata atas dasar data klimatologi dalam jangka waktu 30 hari atau 10 hari. Jadi harga evapotranspirasi (ETo) dinyatakan dalam mm/hari dan merupakan harga rata rata dalam periode tersebut. Oleh sebab itu, Eto akan berbeda beda pada tahun yang berlainan, dan harga yang dipakai tentu saja bukan harga rata rata tetapi suatu harga yang ditetapkan berdasar tingkat toleransi pada resiko yang mungkin diterima pada suatu saat. Metode yang dipilih untuk melakukan prediksi terutama didasarkan pada ketersediaan data, dan tingkat ketelitian yang dikehendaki pada perhitungan kebutuhan air.

Tabel 4.1 Data Data Klimatologi yang Dibutuhkan untuk Berbagai Metode

Metode	Suhu	Kelembaban	Angin	Sinar matahari	Radiasi	Penguapan	Lingkungan
Blaney Criddle	*	0	0	0			0
Radiasi	*	0	0	*	(*)		0
Penman	*	*	*	*	(*)		0
Panci Evaporasi		0	0			*	*

*data diukur, 0 data diperkirakan, (*) kalau ada, tak harus

Yang disebut ETO adalah evapotranspirasi tetapan, didefinisikan sebagai, laju evapotranspirasi dari suatu permukaan luas tanaman rumput hijau setinggi 8 sampai 15 cm yang menutup tanah dengan ketinggian seragam, dan seluruh permukaan tanah teduh tanpa sua-tu bagian yang menerima sinar secara langsung lagi pula rumput masih tumbuh aktif tanpa kekurangan air.

Evapotranspirasi tetapan ini (ETo) kadang kadang disebut evapotranspirasi referensi. Pengaruh dari watak tanaman pada kebutuhan air bagi tanaman umumnya dimasukkan sebagai faktor dengan notasi kc. Selanjutnya terdapat hubungan antara evapotranapfrasi tanaman (ETcrop) dengan evapotranspirasi tetapan (ETo) dan diformulasikan dalam persamaan ETcrop = kc. ETo. Harga kc itu berbeda-beda menurut jenis tanaman, umur tanaman musim dan kondisi cuaca. ETcrop ini dapat dinyatakan dalam mm/hari sebagai harga rata - rata selama 30 hari atau 10 hari. Kondisi setempat yang berpengaruh pada kc antara lain elevasi permukaan tanah, luas areal tanaman, lengas tanah yang tersedia, metode pemberian air dan pengerjaan tanah. Perlu disadari pula bahwa perhitungan dengan rumus akan mempunyai kemungkinan kesalahan sekitar 10% 20%, dan metode Blaney Criddle hanya dipakai untuk periode $\geq$ 1 bulan.

4.2 Metode Blaney Criddle

Metode Blaney Criddle digunakan pada suatu areal yang hanya memiliki data temperatur udara. Jumlah air yang secara potensial dibutuhkan untuk evapotranspirasi pada suatu areal tanaman yang produksinya tidak terganggu oleh kekurangan air, disebut evapotranspirasi potensial, simbolnya CU. Persamaan Blaney Criddle asli menyatakan

$$CU = K.f$$

dengan:

K = koefisien, ditentukan secara empiris

7. = faktor kebutuhan air, sebagai fungsi temperatur dan prosentase jam siang total, tahunan.

Penggunaan rumus asli tersebut dianggap terbentur kesulitan karena koefisien K sebenarnya sangat dipengaruhi iklim, maka daftar nilai K yang disediakan akan mempunyai variasi luas, dan timbul kesulitan dalam memilih harga K yang dianggap sesuai.

Selanjutnya dianjurkan menggunakan formula yang lebih mudah dipakai ialah suatu rumus berdasar pendekatan Blaney Criddle pula:

$$ETo = c\,[p\,(0{,}46\,T + 8)]\ \text{mm/hari}.$$

dengan:

ETo = evapotranspirasi tetapan

7. = temperatur rata rata harian (^{O}C), selama bulan yang di tinjau.

7. = rata rata prosentase dari jumlah jam siang tahunan, besarnya didapat dari tabel, dicari berdasar bulan dan letak lintang (misal bulan Januari, 40° lintang selatan maka P = 0,33)-.

7. = faktor penyesuaian yang tergantung dari harga minimum lengas nisbi (RHmin), jam penyinaran dan kecepatan angin siang hari.

Dalam praktek, perhitungan dilakukan dengan pertolongan gambar, grafik dan tabel tabel. Penentuan harga. ETo secara grafis sangat mudah dilakukan, setelah diketahui harga RHmin, n/N dan U siang hari.

1. Harga RHmin, digolongkan menjadi tiga tingkatan.
2. n/N, merupakan perbandingan jam penyinaran sesungguhnya dengan jam penyinaran yang mungkin terjadi, digolongkan menjadi tiga tingkatan.

7. . $U_{siang\ hari}$, merupakan kecepatan angin pada ketinggian 2 m, har-ganya bisa diperkirakan dari kecepatan angin rata rata selama 24 jam, apabila perbandingan kecepatan siang/ kecepatan malam diketahui.

8. . Kecepatan angin siang/angin malam umumnya mendekati 2, dalam hal ini kecepatan angin siang = 1,33 kecepatan rata rata 24 jam.

Untuk berbagai kondisi, diberikan pedoman yang menunjukkan hubungan sebagai berikut:

$U_{siang}: U_{malam}$	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Koefisien	1,00	1,20	1,33	1,43	1,50	1,56	1,60

Harga harga RHMin, n/N, dan $U_{siang\ hari}$ diperkirakan dari data pada lokasi yang ditinjau, atau kadang kadang terpaksa didasarkan pada harga hasil ekstrapolasi data sekitarnya. Dengan

demikian ETo dapat dihitung, dan ETcrop = ke ETo. Misalnya diketahui, lokasi yang ditinjau terletak pada garis lintang utara 30^0, dan ketinggian 95 m dari muka air laut, diambil data bulan Juli.

Data bulanan dilihat, dihitung Tmax = Σ Tmax/31 = 35 ^{0} C dihitung Tmin = Σ Tmin/31 = 22 ^{0} C

T harian rata rata adalah 1/2 (35 + 22) = $28,50^0$ C, dan dilihat pada tabel 3.3.a., terdapat p = O,31-. Maka, p (0,46 T + 8) = 0,31 (0,46. 28,5 + 8) = 6,6 mm/hari. Dari data iklim terbaca, RHmin tergolong medium, n/N tergolong antara medium sampai tinggi, dan kecepatan angin setinggi 2 meter tergolong moderat.

Selanjutnya dilihat grafik 3.3.b. yang sesuai adalah harga rata rata dari blok V (n/N medium) dan blok II (n/N tinggi), masing masing dilihat pada garis 2 (kecepatan angin moderat). Dari f = p (0,46 t + 8) = 6,6 didapat :

ETo = 1/2 (7,5 + 8,5) = 8,0 mm/hari.

Pada tempat tersebut diatasi untuk data temperatur rata-rata telah diketahui pada tiap bulan, ETo dapat dihitung:

Bulan	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
T_{rata} °C	14	15	17,5	21	25,5	27,5	28,5	28,5	26	24	20	15,5

4.3 Metode Radiasi

Formula yang disarankan adalah:

ETo = c (W.Rs) mm/hari

dengan:

Eto = evapotranspirasi tetapan.

Ps = radiasi matahari yang dinyatakan dalam evaporasi ekivalen, mm/hari.

8. = suatu faktor untuk memasukkan pengaruh temperatur dan ke-tinggian

8. = suatu faktor penyesuaian, untuk memasukkan pengaruh lengasudara dan keadaan angin siang hari.

Penentuan harga Rs berdasarkan lamanya penyinaran, dan besarnya Rs dipengaruhi oleh jumlah radiasi yang diterima pada bagian atas atmosfer bumi (= Ra), juga dipengaruhi oleh transmisi radiasi, melewati atmosfer sampai kepermukaan tanah, dan transmisi tersebut sangat dipengaruhi oleh keadaan awan. Dari tabel 3.4.a., da-pat dicari harga Ra dalam evaporasi ekivalen (mm/ hari), apabila letak lintang dan bulannya diketahui. Rs sebetulnya bisa diukur secara langsung, tetapi apabila data Rs tidak tersedia maka Rs dihitung berdasar Ra yang didapat dari tabel 3.4.a itu, menurut rumus:

$$Rs = (0{,}25 + 0{,}50\ n/N)\ Ra$$

Harga n/N adalah perbandingan antara jam penyinaran matahari yang benar benar terukur dengan jam penyinaran maxi-mum yang mungkin terjadi. Dari tabel 3.4.b., dapat dicari harga N untuk setiap bu-lan apabila diketahui letak lintangnya, sedangkan harga n didapat dari pengukuran setempat. Kadang kadang kita menjumpai pengukuran keteduhan yang tidak te-liti, tanpa mengetahui dengan pasti lamanya jam penyinaran sesungguhnya.

Dari ukuran yang kurang teliti tersebut disarankan meng-gunakan tabel berikut:

Keteduhan skala oktas	0	1	2	3	4	5	6	7	8
n/N	0,95	0,85	0,75	0,65	0,55	0,45	0,35	0,15	-

Keteduhan skala perpuluhan	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n/N	0,95	0,85	0,80	0,75	0,65	0,55	0,50	0,40	0,30	0,15	-

Misalnya suatu tempat pada lintang utara 30^0 , jam penyinaran rata rata = 11,5 / hari.
Dari tabel 3.4.a, Ra = 16,8 mm/hari
Dari tabel 3.4.b, N = 13,9 jam/hari

Maka Rs = (0,25 + 0,50 . 11,5/13,9) 16,8 = 11,2 mm/hari. Kalau pada tempat tersebut diatas, data jam penyinaran tidak ada padahal tersedia pencatatan dengan skala Oktas, misal keteduhan

8.1 (Oktas). Untuk keteduhan 1 Oktas, tampak dari tabel diatas harga, n/N = 0,85. Jadi Rs = (0,25 + 0,50 . 0,85) 16,8 = 11,3 mm/hari.

Yang perlu, diketahui lebih lanjut adalah faktor W. Dengan memiliki data ketinggian serta temperatur, maka faktor W dapat dicari pada tabel 3.4.c. Sebagai contoh diambil tempat pada ketinggian 95 m dan T rata rata 28,5 ^{0} C dan dari tabel 3.4.c terbaca W = 0,77. Sesudah didapat faktor W, perlu dicari faktor c dari tabel 3.4.d. Apabila diambil suatu tempat pada 30^0 lintang utara, pada ketinggian 95 m dan menggunakan data bulan Juli, dengan telah diketahui Rs = 11,2 mm/hari dan W = 0,77 maka W . Rs = 0,77 . 11,2 = 8,6 mm / hari. Data lain menunjukkan angin siang hari = moderat dan RH rata rata = medium. Berdasarkan data tersebut diatas, dilihat grafik 3.4.d pada blok II dan III garis 2, maka terbaca, dua harga ETo yaitu 8,7 dan 8 mm /hari. ETo yang dicari merupakan harga rata rata. = 1/2 (8,7 + 8)= 8,35 mm/hari; dianggap ETo = 8,4 mm/hari. Dari harga yang didapat ini berarti telah dimasukkan pula faktor c, karena grafik dibuat berdasar faktor c yang telah dimasukkan.

4.4 Metode Penman

Cara Penman memberikan hasil yang lebih memuaskan dibanding cara lainnya tetapi memang membutuhkan data yang lebih lengkap. Persamaan Penman dengan sedikit modifikasi yang disarankan adalah sebagai berikut:

$$ETo = c\,[\,W.\,Rn + (\,1- W\,)\,f(u)\,(\,e_a\ \ e_d\,)\,]$$

dengan:

ETo = evapotranspirasi tetapan.

W = suatu faktor tergantung dari temperatur.

Rn = radiasi neto dalam evaporasi ekivalen, (mm/hari).

f(u) = faktor yang tergantung dari kecepatan angin.

(e_a - e_d) = perbedaan tekanan uap jenuh rata rata dengan tekanan uap rata rata yang sesungguhnya, dan dinyatakan dalam mbar, pada temperatur rata rata.

8. = faktor penyesuaian yang tergantung dari kondisi cuaca siang dan malam.

Harga e_a dapat dilihat pada tabel 3.5.a, sedangkan harga e_d dapat dilihat dari tabel 3.5.b, maka (e_a-e_d) diketahui.

1. Diketahui, T max = 35 ^{0}C dan T min = 22 ^{0}C, RH max = 80% dan RH min = 30%

   Hitungan, T rata rata = 28,5 ^{0}C dan RH rata rata = 55%-.

   Dari tabel 3.5.a., e_a = 38,9 mbar, dan karena data tentang temperatur bola basah dan bola kering tidak ada, e_d tidak dibaca dari tabel 3.5.b., tetapi dihitung:

   $e_d = e_a$ (RH rata rata/100) = 38,9 (55/100) = 21,4 mbar.

   Berarti (e_a-e_d) = (38,9 - 21,4) = 17,5 mbar.

2. Diketahui, T_{max} = 35^{0}C, T_{min} = 22^{0}C, $T_{bola\ kering}$ = 24^{0}C dan $T_{bola\ basah}$ = 20^{0}C.

   Psychrometer tipe Assman.

   Tabel 3.5.a., e_a = 38,9 dan tabel 3.5.b., e_d = 20,7 maka (e_a - e_d) = (38,9 - 20,) = 18,2 mbar.

   Kalau Psychrometer yang digunakan dari tipe “Non Ventilated Psychrometer” tabel yang dipakai untuk mencari e_d adalah tabel 3.5.d.

3. Diketahui T max = 35 ^{0}C, T min = 22 ^{0}C, titik embun 18 ^{0}C.

   Hitungan, T rata rata = 28,5 ^{0}C, tabel 3.5.a., e_a = 38,9 mbar dan dari tabel 3.5.a., itu juga dapat dilihat e_a pada titik embun, harganya dianggap sebagai e_d = 20,6 mbar.

   Jadi (e_a - e_d) = (38,9 - 20,6) = 18,3 mbar. Pada keadaan RH malam hari sangat mendekati 100% maka T min mendekati T bola basah dan mendekati titik embun, dalam hal ini harga e_d didekati sebagai harga e_a pada T min.

Pengaruh kecepatan angin yang dimasukkan sebagai f(u), sebenarnya mengikuti suatu formula f(u) = 0,27 (1 + U/100). U adalah kecepatan angin dinyatakan dalam km/hari, pada tinggi pengukuran 2 m. Apabila pengukuran kecepatan angin tidak pada tinggi 2 m, perlu dikalikan dengan faktor koreksi sesuai tabel sebagai berikut:

Tinggi pengukuran (m)	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Faktor koreksi	1,35	1,15	1,06	1,00	0,93	0,88	0,85	0,83

Besarnya f(u) dapat dilihat pada tabel 3.5.c., apabila kecepatan angin pada tinggi pengukuran 2 m telah didapatkan.

Diketahui, data dari tinggi pengukuran 3 m kecepatan angin 8. 250 km/hari. Hitungan, U = 0,93 (250) = 232 km/hari. Selanjutnya baru dilihat pada tabel 3.5.c., f(u) = 0,90.

Selanjutnya konstanta, (1-W) dicari pada tabel 3.5.d apabila telah diketahui T rata rata, dan ketinggian tempat dari muka air laut. Misal:

T rata rata = 28,5 ^{0}C

Ketinggian dari muka air laut = 95 m

Dari tabel 3 5.d., (1 – W) = 0,23

Sebetulnya kalau (1 – W) telah diketahui, praktis harga W sangat mudah dihitung, tetapi untuk memudahkan disediakan tabel 3.5.e., untuk mencari besarnya harga W. Untuk memasukkan pengaruh radiasi, pada rumus yang disarankan di atas terdapat faktor Rn. Rn adalah radiasi neto, yang tergantung dari harga radiasi matahari (Rs), dan radiasi matahari tersebut tergantung dari Ra. Yang dimaksud harga Ra adalah radiasi pada bagian atas atmosfer bumi, apabila selanjutnya radiasi itu menembus atmosfer, sebagian terserap dan sebagian menyebar. Bagian yang mencapai permukaan tanah disebut radiasi matahari, dan disini diberi simbol Rs. Selanjutnya dirumuskan, besarnya radiasi neto (Rn) mengikuti suatu formula:

$$Rn = (1 - \alpha) Rs – Rnl$$

dengan:

α = angka refleksi

Rnl = radiasi gelombang panjang neto.

Misalnya suatu tempat dengan letak 30^0 lintang utara, pada ketinggian 95 m dan data dari bulan Juli memberikan RH rata rata 55% serta n rata rata = 11,5 jam/hari maka perhitungan

dilakukan sebagai berikut : Ra, dari tabel 3.5.f = 16,8 mm/hari, dan dari tabel 3.5.9, dapat dilihat N = 13,9 jam/hari.

Rs =(0,25 + 0,50 n/N) Ra = (0,25 + 0,50 . 11,5/13,9) 16,8 = 11,2 mm/hari. Untuk tanaman pada umumnya harga a diambil = 0,25

Maka (1 - α) Rs = 0,75. 11,2 = 8,4 mm/hari

Rumus untuk menghitung besarnya radiasi gelombang panjang – neto terlalu kompleks bagi keperluan praktis, maka perhitungan Rnl sangat sederhana apabila menggunakan tabel tabel yang telah disediakan.

$$Rnl = f(T).\ f(e_d).\ f(n/N)$$

Dari tabel 3.5.i., didapat f(T) = 16,4 dan dari perhitungan I di depan telah didapatkan harga e_d = 21,4 mbar. Maka dari tabel 3.5.j., didapatkan pada e_d = 21,4 mbar, f (e_d) sangat mendekati 0,13 Dari tabel 3.5.k., didapatkan harga f (n/N) = 0,85- Rnl = (16,4) . (0,13) . (0,85) = 1,8 mm/hari. Jadi Rn = 8,4 mm/hari - 1,8 mm/hari = 6,6 mm/hari

Faktor terakhir yang perlu dicari adalah faktor penyesuaian 9. karena metode Penman memang juga dibuat dengan menggunakan berbagai anggapan jadi faktor penyesuaian tersebut perlu diberikan. Besarnya faktor penyesuaian diberikan dalam tabel 3.5.l sebagai contoh misalnya diketahui data sebagai berikut:

1. RH max= 90%, Rs=12 mm/hari, U siang/U malam = 3,
   dengan U siang hari = 3 m/det.
   Dari tabel 3.5.l terdapat c = 1,28
2. RH max = 60%, Rs = 6 mm/hari, U siang hari = 3m/det, dan
   U siang /U malam, = 2 .
   Dari tabel 3.5.l., c = 0,91

Sesudah semua faktor dicari, yaitu (ea - ed); f(u); (1 – W); W; Rn; dan c; maka besarnya ETo dapat dihitung.

$$ETo = c\ [\ W\ .\ Rn + (1\ W)\ .\ f\ (u)\ .\ (ea\ \ e\ d)\ ]$$

4.5 Metode Panci Evaporasi

Dari pencatatan laju evaporasi, berarti telah dimasukkan pula pengaruh pengaruh radiasi, angin, temperatur, maupun lengas udara. Refleksi radiasi matahari, berbeda pada permukaan air bebas dan pada permukaan vegetasi. Pada permukaan air bebas refleksi radiasi matahari hanya 5%-8%, sedangkan pada permukaan vegetasi berkisar antara 20%-25%. Selain terdapat perbedaan refleksi radiasi matahari, terdapat juga perbedaan penyimpanan panas oleh permukaan air dan permukaan vegetasi. Karena adanya perbedaan-perbedaan tersebut, maka untuk merubah laju evaporasi dari permukaan air pada panel menjadi Eto, diperlukan suatu faktor, dan disini faktor tersebut diberi simbol Kp.

$$ETo = Kp \cdot Epanci.$$

Untuk tipe tipe panci tertentu, dalam praktek perhitungan telah tersedia tabel yang bersangkutan, yang memuat nilai dari faktor Kp. Walaupun tabel nilai Kp telah tersedia, perlu diperhatikan pengaruh dari iklim dan keadaan lingkungan. Untuk panci klas A, berikan tabel nilai Kp, pada tabel 3.6.a. Yang disebut panci klas A, adalah panci standar dengan diameter 121 cm dan kedalaman panci = 25,5 cm, dengan cara pemasangan yang telah ditentukan. Metode panel evaporasi ini hanya digunakan untuk periode yang lebih besar atau sama dengan 10 hari. Rumus ETo sangat sederhana, yaitu:

$$ETo = Kp \cdot E\ panci.$$

dengan:

ETo = Evapotranspirasi tetapan.

Kp = Koefisien panci

E panci = harga evaporasi dari air dalam panci I merupakan harga rata rata harian dalam, periode yang ditinjau dan dinyatakan dalam satuan mm/hari.

Untuk memakai tabel 3.6.a., data yang perlu diperoleh adalah data RH rata rata, umumnya diambil dari 1/2 (RH max+ RH min), dan data kecepatan angin.

4.6 Memilih koefisien tanaman

Untuk mengubah ETo menjadi Etcrop, perlu dikalikan dengan koefisien tanaman (= kc).

$$ETcrop = kc \cdot ETo \cdot$$

Pemilihan harga kc, didasarkan pada watak tanaman, waktu tanam, usia tanaman dan kondisi iklim pada umumnya. Harga kc umumnya telah ditabelkan berdasar penyelidikan, misalnya untuk Indonesia, bagi tanaman padi disarankan memakai tabel sebagai berikut:

Tabel 4.2. Harga Kc Yang Disarankan, Bagi Tanaman Padi

	Saat tanam	Panen	Bulan I/II	Per-tengahan	Bulan terakhir
Musim basah					
(RH min> 70%)					
Angin lemah sampai sedang,	Juni/Juli	Nov/Des	1,10	1,05	0,95
Angin kuat,			1,15	1,10	1,00
Musim kering					
(RH min < 70%)					
Angin lemah sampai sedang,	Des/Jan	Mei	1,1O	1,25	1,00
Angin kuat,			1,15	1,35	1,05

4.7 Beberapa metode lain

4.7.1 Metode Thornthwaite

$$e = c.t^a$$

dengan:

e = evapotranspirasi potensial bulanan (cm/bulan)

c dan a adalah suatu koefisien.

t = suhu udara rata rata bulanan (^{O} C)

$a = 0{,}000000675\ I^3 - 0{,}0000771\ I^2 + 0{,}01792\ I + 0{,}49239$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t}{5}\right)^{1{,}514}$$

4.7.2 Metode Wickman

$$Et = a. Ep + b .$$

dengan:

Et = evapotranspirasi, (mm/hari).

Ep = evaporasi dari panci evaporasi klas A (mm/hari).

a dan b suatu konstanta.

4.7.3 Lain-lain

Masih ada cara cara lain lagi misalnya Metode Hargreaves, Metode Irri, Lowry Johnson, Christiansen, dll.

Untuk Indonesia, harga evapotranspirasi berada pada harga sekitar 4 sampai 6 mm/hari, dan sebagaimana umumnya sebagai daerah sekitar khatulistiwa, maka variasi harga evapotranspirasi dari bulan ke bulan lain tidak terlampau besar.

5

KEBUTUHAN AIR UNTUK TANAMAN DAN KEBUTUHAN AIR IRIGASI

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

Menjelaskan Kebutuhan Air Tanaman

Menjelaskan Kebutuhan Air Irigasi

9.1 Kebutuhan air tanaman

Banyaknya air yang diperlukan untuk berbagai tanaman, masing-masing daerah dan masing-masing musim adalah berlainan, oleh karena itu di tiap daerah diadakan peraturan-peraturan pengairan sendiri. Dalam peraturan-peraturan tersebut antara lain ditentukan tanaman-tanaman yang berhak menerima air irigasi dan peraturan waktu tanam serta peraturan pemberian air irigasi. Kebutuhan air untuk tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk mengganti sejumlah air yang hilang akibat penguapan (Suhardjono, 1994:11).

Faktor-faktor yang memengaruhi besarnya kebutuhan air tanaman adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1994:13):

11. Faktor iklim
    10. Suhu udara
    11. Kelembaban udara

12. Kecepatan angin
13. Kecerahan matahari

b . Faktor tanaman

14. Jenis tanaman
15. Varitas tanaman
16. Umur tanaman

Kebutuhan air untuk tanaman tergantung dari besarnya evapotranspirasi dikalikan dengan faktor koefisien tanaman, dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Suhardjono, 1994:12):

Et = k .Eto **(5.1)**

Dengan:

Et = kebutuhan air untuk tanaman, bisa dinyatakan dalam Cu (mm/hari)

Eto = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

12. = koefisien tanaman, yang besarnya tergantung pada jenis, macam dan umur tanaman

5.1.1 Kebutuhan air di sawah

Tanaman mambutuhkan air agar dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik. Air tersebut dapat berasal dari air hujan maupun dari air irigasi. Air irigasi adalah sejumlah air yang umumnya diambil dari sungai atau waduk dan dialirkan melalui sistem jaringan irigasi, guna menjaga keseimbangan jumlah air di lahan pertanian.

Besarnya kebutuhan air di sawah dipengaruhi oleh berbagai faktor sebagai berikut (KP – 01 Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi, 1986:157):

12. Penyiapan lahan
13. Penggunaan Konsumtif
14. Perkolasi
15. Pergantian lapisan air
16. Curah hujan Efektif

Pendugaan kebutuhan di sawah dilakukan berdasarkan jenis tanaman, persamaan *netto* kebutuhan air (*Net Field Requirement* 12. NFR) dengan Metode Standar Perencanaan Irigasi adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{NFR_{padi} = IR + Et + WLR + P - Re_{padi}} \quad \mathbf{(5.2)}$$

$$\mathbf{NFR_{plw} = Et + P - Re_{plw}} \quad \mathbf{(5.3)}$$

Dengan:

NFR_{padi} = *netto* kebutuhan air padi sawah (mm/hari)

NFR_{plw} = *netto* kebutuhan air palawija (mm/hari)

IR = kebutuhan air untuk persiapan lahan (mm/hari)

Et = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hari)

WLR = kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (mm/hari)

P = perkolasi (mm/hari)

Re_{padi} = curah hujan efektif untuk padi sawah (mm/hari)

Re_{plw} = curah hujan efektif untuk palawija (mm/hari)

5.1.2 Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari daerah tidak jenuh (antara permukaan tanah ke permukaan air tanah). Faktor-faktor yang memengaruhi perkolasi adalah tekstur tanah, permeabilitas tanah, tebal lapisan tanah bagian atas dan letak permukaan tanah. Harga perkolasi dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Harga Perkolasi Dari Berbagai Jenis Tanah

No	Macam Tanah	Perkolasi Vertikal (mm/hari)
1	Sandy Loam	3 – 6
2	Loam	2 – 3
3	Clay	1 – 2

Sumber: Fukuda dan Hikaru Tsutsui, Rice Irrigation In Japan, 1973:22

5.1.3 Kebutuhan air untuk penyiapan lahan

Kebutuhan air untuk pengolahan lahan biasanya lebih besar dari kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman, yaitu antara 200 mm sampai dengan 300 mm. Waktu pengolahan lahan di Indonesia 30 hari sampai dengan 45 hari dengan waktu pelaksanaan pemberian air sebaiknya digunakan waktu pengolahan yang sesuai dengan kondisi lahan setempat. Kebutuhan air di tingkat usaha tani untuk lahan yang baru dibuka lebih besar dari kebutuhan lahan yang telah lama ditanami. Lahan yang baru dibuka (baru diadakan pembersihan lahan/*land clearing*) di sejumlah daerah irigasi di Indonesia pada tahun-tahun pertama akan membutuhkan air yang banyak untuk penjenuhan dan pengolahan tanah (Anonim,1997: IV-23).

Besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah didekati dengan metode yang dikembangkan oleh *Van de Goor dan Zijlstra*. Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt selama periode penyiapan lahan, dengan persamaan sebagai berikut (KP 01, 1986:160):

$$IR = \frac{M \ x \ e^{k}}{e^{k} - 1} \qquad (5.4)$$

Dengan:

IR = kebutuhan air untuk pengolahan lahan (mm/hari)

12. = kebutuhan air untuk penggantian kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan (mm/hari)

M = Eo + P (mm/hari)

Eo = evaporasi air terbuka yang diambil 1,1 Eto selama penyiapan lahan (mm/hari)

13. = perkolasi (mm/hari)

k = (M . T) / S

T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)

13. = kebutuhan air untuk penjenuhan yang besarnya berdasar dari tekstur tanah

e = bilangan eksponensial (2,71828)

5.1.4 Pergantian lapisan air

Pergantian lapisan air erat hubungannya dengan kesuburan tanah. Beberapa saat setelah air digenangkan air kotor dan mengandung zat-zat yang tidak lagi diperlukan oleh tanaman, bahkan akan merusak tanaman. Air genangan yang perlu dibuang diganti dengan air baru yang bersih. Adapun ketentuan-ketentuan penggantian lapisan air (WLR) adalah sebagai berikut:

2 WLR diperlukan saat terjadi pemupukan atau penyiangan.

3 Besarnya WLR adalah 50 mm.

4 Jangka waktu WLR adalah 1,5 bulan (selama 1,5 bulan air yang digunakan untuk WLR sebesar 50 mm)

5.2 Kebutuhan air irigasi

Irigasi adalah penambahan kekurangan kadar air tanah secara buatan, yaitu dengan memberikan air yang perlu untuk pertumbuhan tanaman ke tanah yang diolah dan mendistribusikannya secara sistematis. Pemberian air irigasi yang berlebihan pada tanah yang diolah dapat merusak tanaman (Sosrodarsono, 1978:216).

Besarnya kebutuhan air irigasi harus disesuaikan dengan besarnya masukan (*inflow*). Adapun faktor-faktor yang memengaruhi besarnya kebutuhan air di bangunan pengambilan air irigasi adalah:

1. Luas daerah irigasi
2. Pola tata tanam yang direncanakan
3. Evapotranspirasi potensial
4. Koefisien tanaman
5. Teknik pengolahan lahan
6. Perkolasi
7. Curah hujan efektif
8. Efisiensi irigasi

Kebutuhan air irigasi pada setiap bangunan sadap dan bangunan utama untuk masing-masing petak tersier dan saluran dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (Anonim, 1995:6):

$$TOR = \frac{A \times NFR}{\pi\, tersier} \qquad (5.5)$$

Untuk menghitung besarnya kebutuhan air irigasi pada bangunan utama, menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DR = \frac{\sum TOR}{\pi saluran} \quad (5.6)$$

Dengan:

TOR = (*Tersierry Offtake Requirement*) kebutuhan air irigasi petak tersier (lt/detik)

DR = kebutuhan air irigasi bangunan utama (lt / dt)

13. = luas layanan petak tersier (Ha)

NFR = kebutuhan air *netto* (lt / dt)

= efisiensi petak tersier (%)

5.2.1 Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi adalah perbandingan antara debit air yang sampai di pintu tersier lahan pertanian dengan debit air irigasi yang keluar dari pintu pengambilan. Perbedaan debit tersebut disebabkan adanya kehilangan-kehilangan dalam saluran yang disebabkan oleh berbagai faktor antara lain adanya penguapan, kebocoran, dan rembesan.

Kehilangan air secara umum dibagi dalam 2 (dua) kategori seperti berikut (Anonim, 1997: IV-21):

1. Kehilangan akibat fisik, yang disebabkan rembesan air di saluran dan perkolasi ditingkat lahan usaha tani (sawah)
2. Kehilangan akibat operasional, yang disebabkan pelimpasan dan kelebihan air pembuangan dan pada waktu peng-operasian saluran dan pemborosan penggunaan air oleh petani.

Kehilangan air akibat fisik, relatif lebih mudah untuk diperkirakan dan dikendalikan secara teliti. Sedangkan, kehilangan akibat operasional lebih sulit diperkirakan dan dikendalikan karena tergantung pada faktor yang sulit diketahui sejak awal seperti datangnya hujan, sikap tanggap petugas operasi dan tingkat keterlibatannya.

Pengoperasian pengaliran air melalui suatu jaringan irigasi dibagi atas 3 (tiga) macam operasi yaitu di jaringan utama, di jaringan tersier, dan di tingkat usaha tani. Efisiensi dari

penggunaan air selain pada masing-masing operasi tersebut, juga efisiensi gabungan antara jaringan tersier di tingkat usaha tani/ lahan dan efisiensi daerah irigasi/seluruh jaringan.

Efisiensi berkisar antara 35% pada musim hujan sampai 60% pada musim kemarau, penyebab rendahnya efisiensi pada musim hujan karena ketidakmampuan memberikan air secara pasti sesuai yang dibutuhkan, akibat pertimbangan curah hujan efektif.

Dalam studi ini besarnya efisiensi irigasi pada saluran adalah sebagai berikut (Anonim, 1997: IV-22):

Efisiensi saluran primer sebesar 90%

Efisiensi saluran sekunder sebesar 90%

Efisiensi saluran tersier sebesar 80%

Jadi besarnya efisiensi secara keseluruhan adalah sebesar 65% atau 0,65.

6 TEKNIK PEMBERIAN AIR IRIGASI

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

13. Menjelaskan Irigasi Curah
14. Menjelaskan Kinerja Sprinkler
15. Menjelaskan Pemilihan Sprinkler
16. Menjelaskan Irigasi Tetes (Trickle)
17. Menjelaskan Komponen Irigasi dalam Sistem Hidroponik

13. 1 Pendahuluan

Irigasi dimaksudkan untuk memberikan suplai air kepada tanaman dalam waktu, ruang, jumlah, dan mutu yang tepat. Pencapaian tujuan tersebut dapat dicapai melalui berbagai teknik pemberian air irigasi. Rancangan pemakaian berbagai teknik tersebut disesuaian degan karakteristik tanaman dan kondisi setempat. Bagian ini akan membicarakan beberapa teknik pemberian air irigasi, desain serta kinerjanya.

6.1.1 Fungsi irigasi

Untuk mencapai fungsi utamanya untuk memberikan suplai air kepada tanaman, irigasi perlu mencapai beberapa fungsi spesifik yaitu:

1 . mengambil air dari sumber (*diverting*)
2. membawa/mengalirkan air dari sumber ke lahan pertanian (*conveying*)
3. mendistribusikan air kepada tanaman (*distributing*)
4. mengatur dan mengukur aliran air (*regulating and measuring*).

Disamping fungsi pokoknya untuk memenuhi kebutuhan air tanaman, irigasi juga mempunyai fungsi tambahan seperti:

1. mendinginkan tanah dan tanaman
2. mencuci garam-garaman dari permukaan tanah
3. melunakkan tanah
4. mengaplikasikan bahan-bahan kimia, seperti pupuk, pestisida, dan herbisida.

6.1.2 Macam-macam sistem irigasi

Sistem irigasi yang ada sangat bervariasi bergantung pada jenis tanaman, kondisi lahan dan air, cuaca, ekonomi, dan faktor budaya. Macam-macam sistem irigasi dapat dibedakan sebagai berikut. Menurut sumber airnya:

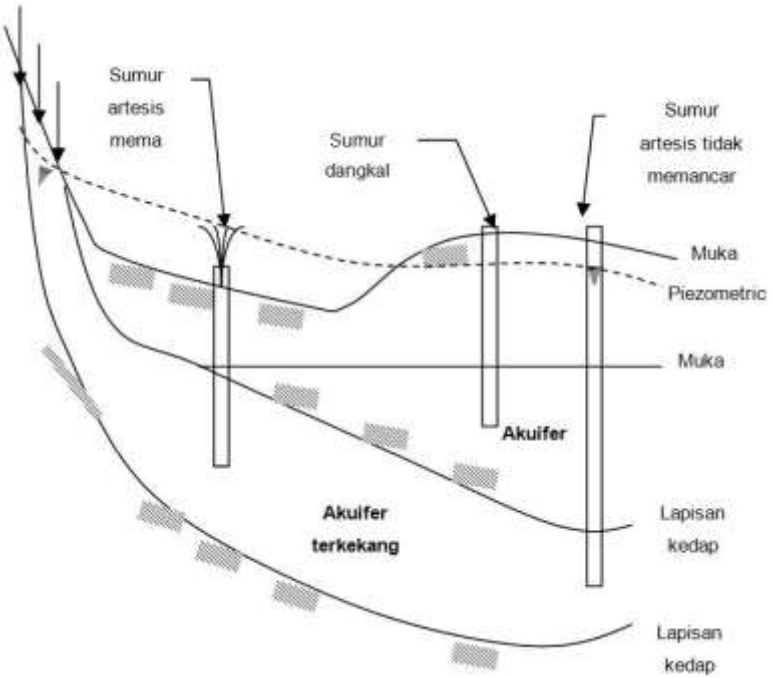
1. Air permukaan (*surface source*)

   Sumber air permukaan terutama berasal dari sungai dan danau. Waduk (*reservoir*) merupakan juga sumber air permukaan yang berasal dari sungai yang dengan sengaja dibendung.

2. Air tanah (*groundwater*)

   Air tanah merupakan air yang mengisi pori antar partikel tanah dalam suatu akuifer (*aquifer*). Akuifer adalah suatu formasi yang berupa bahan permeable yang mengandung air serta dapat menghantarkan dan menghasilkan air. Ada dua macam akuifer yaitu akuifer bebas (*unconfined aquifer, phreatik aquifer*) dan aquifer terkekang (*confined aquifer*) (lihat Gambar 0.1). Pada akuifer bebas terdapat muka air (*water table*) yang memisahkan zone aerasi dan zone saturasi. Di muka air tekanan air sama dengan tekanan atmosfer. Akuifer terkekang terjadi apabila air tanah terkekang oleh lapisan

kedap (*impermeable*). Airtanah pada akuifer terkekang mempunyai tekanan lebih besar daripada tekanan atmosfer sehingga air akan naik bila dibuat sumur melalui lapisan kedap. Air tanah dalam akuifer dapat muncul ke permukaan tanah secara alamiah dalam bentuk mata air maupun melalui saluran vertikal dari permukaan tanah ke akuifer yang disebut sumur.



Gambar 6.1. Jenis-jenis Akuifer

Menurut cara pengambilan airnya:

1. Pengambilan gravitasi

   Jika elevasi permukaan air atau head pada sumber air cukup maka digunakan metode gravitasi. Cara pengambilan gravitasi yang paling banyak digunakan adalah dengan penyadapan dari sumber air pemukaan ke saluran terbuka maupun pipa. Bangunan sadap biasanya mempunyai bagian pengatur dan pengukur aliran ke lahan, seperti bendung, pintu, atau katub.

2 . Pemompaan

Apabila head sumber air tidak cukup maka digunakan pompa untuk menaikkan permukaan air dan/atau memberikan tekanan yang diperlukan untuk membawa dan/ atau mendistribusikan air irigasi. Suatu instalasi pompa terdiri dari unit pompa (*pump unit*) dan unit sumberdaya (*power unit*). Unit pompa merupakan peralatan mekanis yang memberikan energi pada air untuk menaikkan elevasinya. Pompa sentrifugal merupakan jenis pompa yang paling cocok digunakan untuk irigasi dibandingkan jenis pompa rotari maupun reciprokal. Unit sumberdaya yang berupa motor listrik atau motor bakar berfungsi menghasilkan energi mekanis untuk menggerakkan pompa.

Menurut cara pengaliran airnya:

1. Saluran terbuka (*open channel*)

   Saluran terbuka biasanya mejpunyai slope searah aliran. Jenis saluran terbuka adalah saluran tanah dan saluran dengan pasangan (*lining*) berupa pasangan batu, semen atau yang lain. Saluran tanah mempunyai kelebihan lebih murah konstruksinya sedangkan saluran dengan lining lebih murah perawatannya, ukuran penampang relatif tetap, serta kehilangan karena seepage lebih kecil.

2. Jaringan pipa (*pipe networks*)

   Jaringan pipa dapat dibedakan menjadi pipa terbuka (*low head*) dan pipa tertutup (*pressurized*) bergantung apakah sistem terbuka terhadap atmosfer. Pipa mungkin diletakkan di permukaan tanah agar mudah dipindah (*portable*) atau ditanam dalam tanah (*burried*) untuk mengurangi kemungkinan kerusakan.

   Dibandingkan dengan saluran terbuka, jaringan pipa ini mempunyai keuntungan mengurangi kehilangan karena seepage dan evaporasi, menghindari pertumbuhan gulma, lebih aman, memungkinkan aliran ke atas, serta mengurangi kehilangan lahan produktif.

Menurut cara distribusinya:

1 . Irigasi permukaan (*surface irrigation*)

Metode ini merupakan cara aplikasi irigasi yang tua dan paling banyak digunakan. Irigasi permukaan lebih cocok diterapkan pada lahan yang relatif seragam dan datar (slope 13.2%) serta tanah dengan kapasitas infiltrasi rendah sampai sedang. Investasi awal yang diperlukan untuk membangun irigasi permukaan biasanya rendah namun efisiensinya relatif rendah karena banyak kehilangan air melalui evaporasi, perkolasi, run off maupun seepage. Beberapa tipe irigasi permukaan yang sering dijumpai adalah sawah/genangan (*basin*), luapan (*border*), alur (*furrow*), dan surjan.

2. Irigasi curah (*sprinkler irrigation*)

Metode ini menggunakan tekanan antara 70-700 kPa untuk menciptakan butiran-butiran yang menyerupai hujan. Sprinkler mempunyi efisiensi lebih tinggi daripada irigasi permukaan karena dapat mengurangi kehilangan air yang diakibatkan oleh perkolasi dan run off. Sprinkler memerlukan investasi relatif besar serta memerlukan lebih sedikit tenaga kerja tetapi ketrampilannya dituntut lebih tinggi dibandingkan irigasi permukaan. Sprinkler dapat digunakan untuk mengaplikasikan pupuk dan pestisida sehingga dapat digunakan untuk irigasi hidroponik.

3. Irigasi tetes (*trickle irrigation*)

Irigasi tetes mengaplikasikan air secara perlahan-lahan dan sering pada permukaan tanah atau dalam tanah di daerah perakaran tanaman. Prinsip irigasi tetes adalah memberikan air di zone perakaran tanaman dan menjaga kandungan lengasnya mendekati optimal. Dengan demikian metode ini lebih efisien daripada sprinkler. Namun demikian metode ini memerlukan investasi yang besar dan perawatan yang baik karena air yangmengandung bahan terlarut akan mudah menyumbat komponen penetes. Tekanan yang digunakan pada irigasi tetes biasanya berkisar 15-20 kPa untuk menghasilkan tetesan di permukaan atau dalam tanah, pengkabutan di permukaan tanah, atau gelembung (*bubble*). Variasi tradisional dari irigasi ini adalah irigasi kendi.

2 2 Irigasi Permukaan

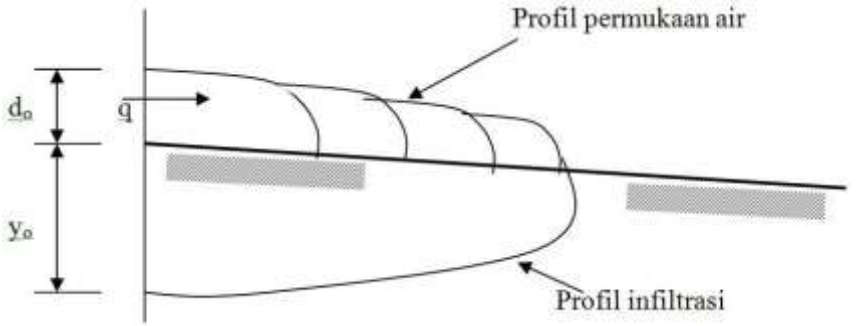
6.2.1 Pendahuluan

Irigasi permukaan merupakan metode pemberian air yang paling awal dikembangkan. Irigasi permukaan merupakan irigasi yang terluas cakupannya di seluruh dunia terutama di Asia.

Sistem irigasi permukaan terjadi dengan menyebarkan air ke permukaan tanah dan membiarkan air meresap (infiltrasi) ke dalam tanah. Air dibawa dari sumber ke lahan melalui saluran terbuka baik dengan atau lining maupun melalui pipa dengan head rendah. Investasi yang diperlukan untuk mengembangkan irigasi permukan relatif lebih kecil daripada irigasi curah maupun tetes kecuali bila diperlukan pembentukan lahan, seperti untuk membuat teras. Jenis irigasi tetes yang akan dibahas di sini adalah sawah/genangan (*basin*), luapan (*border*), alur (*furrow*), dan surjan.

6.2.2 Proses Irigasi Permukaan

Air yang dialirkan ke permukaan lahan sebagian akan mengalir ke sisi lahan yang lain sedangkan sebagian lagi akan meresap ke dalam tanah. Air yang telah mencapai sisi lahan yang lain akan akan meninggalkan lahan sebagai aliran permukaan (*surface run off*) atau akan tersimpan (*storage*) apabila lahan diberi tanggul. Selanjutnya air terinfiltrasi ke dalam tanah. Secara skematis profil pemberian air irigasi permukaan digambarkan pada Gambar 0.2.



Gambar 6.2. Proses Irigasi Permukaan

Umumnya air dialirkan sampai kebutuhan air tanaman terpenuhi. Setelah pemberian air dihentikan aliran air masih akan berlanjut tetapi tebalnya akan berkurang dimulai dari hulu lahan ke hilir. Jika ketebalan air mencapai nol maka terjadi proses pengeringan atau resesi yang prosesnya juga dimulai dari hulu lahan ke hilir. Proses ini terjadi baik pada pemberian air irigasi genangan, luapan, maupun alur.

Gambar 6.3 menunjukkan skema proses irigasi permukaan terhadap waktu dan tempat yang menunjukkan fase-fase yang terjadi selama proses berlangsung. Fase-fase tersebut adalah:

1. Fase awal (*advance phase*)

   Air mulai masuk dan mengalir di permukaan tanah dari hulu lahan sampai mencapai hilir lahan.

2. Fase simpanan (*storage phase*)

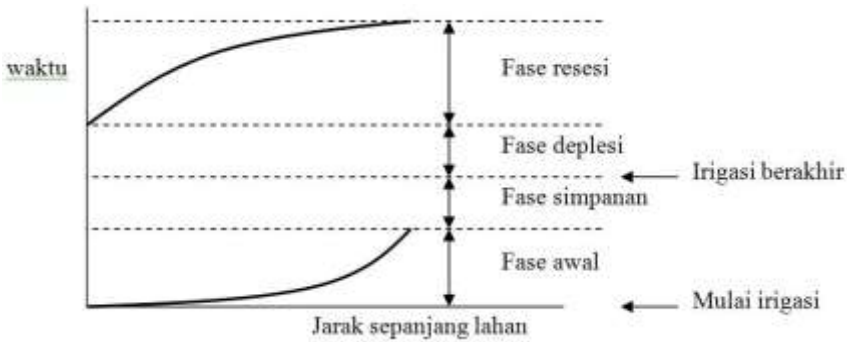
   Fase ini terjadi jika air telah mencapai ujung lahan tetapi aliran air masuk masih ada.

3. Fase deplesi (*depletion phase*)

   Fase ini terjadi setelah pemberian air irigasi dihentikan dan tebal air (d) mulai menurun sampai mencapai 0.

4. Fase resesi (*recession phase*)

   Setelah tidak ada air di permukaan tanah, tanah mulai mengering.



Gambar 6.3. Skema Proses Irigasi Permukaan

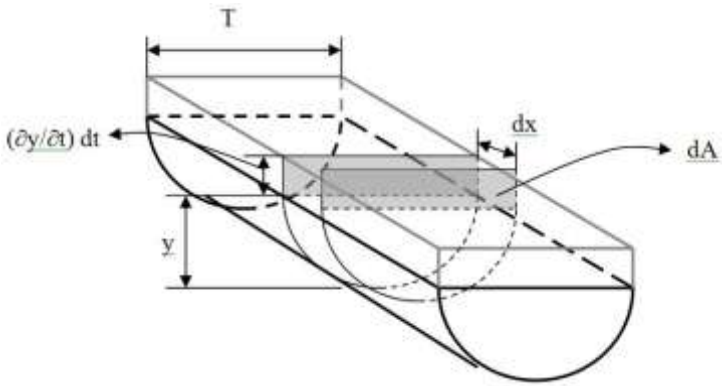
6.2.3 Hidrolika Irigasi Permukaan

Proses irigasi permukaan tersebut dapat dimodelkan dengan model matematika. Ada beberapa jenis model matematika misalnya hydrodinamic model dan kinematic-wave model. Pada dasarnya model matematika ini diturunkan dari persamaan kontinyuitas dan persamaan energi pada aliran unsteady di saluran terbuka.

Model matematis dipergunakan dalam desain irigasi permukaan misalnya untuk memperkirakan posisi front pembasahan pada fase awal, memperkirakan posisi pengeringan tanah pada fase resesi, menghitung efisiensi dan keseragaman, menentukan kombinasi ebit, slope dan panjang lahan optimal, dan sebagainya. Model matematika biasanya berupa persamaan diferensial yang harus diselesaikan dengan bantuan komputer. Berikut ini penurunan salah satu model matematika yaitu model hidrodinamik atau persamaan Saint Venant.

a. Persamaan Kontinyuitas

Gerakan air di permukaan tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.2 dapat didekati dengan sebagai aliran fluida (air) tak tunak (*unsteady*). Persamaan kontinyuitas untuk aliran un-steady dapat disusun berdasarkan konservasi massa pada suatu ruang di antara dua buah penampang saluran seperti nampak pada Gambar 6.4. Pada aliran unsteady debit berubah terhadap jarak dengan laju sebesar $\partial Q/\partial x$, dan kedalaman berubah terhadap waktu dengan laju $\partial y/\partial t$.



Gambar 6.4. Kontinyuitas Aliran Tak Tunak (Unsteady)

Perubahan debit yang melalui ruang dalam waktu *dt* adalah (∂Q/∂x) *dx dt*. Perubahan simpanan saluran pada ruang dalam waktu yang sama adalah T *dx* (∂y/∂t) = *dx* (∂A/∂t) *dt*. Karena air bersifat tak mampat (*incompressible*), netto perubahan debit ditambah perubahan simpanan sama dengan nol.

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right)dx\,dt + T\,dx\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)dt = \left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right)dx\,dt + dx\left(\frac{\partial A}{\partial t}\right)dt = 0 \quad \text{..... (1)}$$

Bila disederhanakan (dibagi *dx dt*) diperoleh:

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) + T\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right) = 0 \quad \text{..... (2)}$$

Atau

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) + \left(\frac{\partial A}{\partial t}\right) = 0 \quad \text{..... (3)}$$

Pada penampang yang ditinjau, Q = vA, sehingga persamaan (2) menjadi:

$$\left(\frac{\partial vA}{\partial x}\right) + T\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right) = 0 \quad \text{..... (4)}$$

Atau

$$\left(A\frac{\partial v}{\partial x}\right) + \left(v\frac{\partial A}{\partial x}\right) + T\left(\frac{\partial A}{\partial t}\right) = 0 \quad \text{..... (5)}$$

Karena kedalaman hidrolik D = A/T dan ¶A = T ¶y, persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

$$\left(D\frac{\partial v}{\partial x}\right) + \left(v\frac{\partial y}{\partial x}\right) + T\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right) = 0 \quad \text{..... (6)}$$

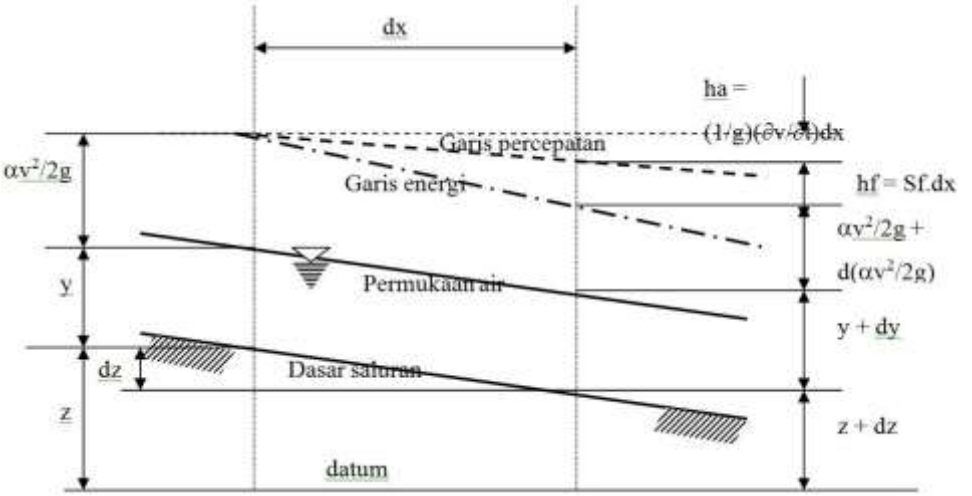
Persamaan-persamaan di atas merupakan persamaan kontinyuitas untuk aliran unsteady pada saluran terbuka. Persamaan ini pertaman kali dikemukakan oleh Saint Venant.

Bila persamaan digunakan pada saluran lebar dengan laju infiltrasi per satuan panjang I maka persamaan (3) dapat dituliskan sebagai:

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) + \left(\frac{\partial A}{\partial t}\right) - I = 0 \quad \text{..... (7)}$$

b. Persamaan Energi

Gerakan air di permukaan tanah juga mengikuti hukum kekekalan energi seperti yang dinyatakan dengan persamaan Bernoulli. Persamaan energi diturunkan dengan mengambil sepenggal kecil aliran yang berukuran *dx*. Garis energi pada aliran unsteady di permukaan tanah tersebut dapat dilihat pada Gambar 0.5.



Gambar 6.5. Gambaran Sederhana Energi Pada Aliran Unsteady

Kemiringan dasar saluran : So

Kemiringan permukaan air : Sw

Kemiringan garis energi : Sf

Kemiringan garis percepatan: Sa

Berat air : w

Kehilangan karena percepatan:

Dengan mengacu gambar di atas, percepatan $\partial v/\partial t$ untuk tiap satuan berat air adalah $(w/g)(\partial v/\partial t)$. Hal ini setara dengan gaya = massa x percepatan.

Kerja yang dilakukan percepatan sepanjang *dx* adalah $(w/g)(\partial v/\partial t)$ *dx*. Kerja ini merupakan kehilangan energi karena percepatan dalam satuan berat air. Apabila dinyatakan dalam tinggi energi, kehilangan energi karena percepatan:

$$ha = \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}dx \quad \text{..... (8)}$$

Kehilangan energi karena gesekan:

$$hf = Sf.dx \quad \text{..... (9)}$$

Dengan demikian persamaan Bernoulli untuk Gambar 0.5 menjadi:

$$z + y + \frac{\alpha v^2}{2g} = z + dz + y + dy + \frac{\alpha v^2}{2g} + d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial g}dx + Sf.dx \quad \text{..... (10)}$$

Disederhanakan menjadi:

$$dz + dy + d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}dx + Sf.dx = 0 \quad \text{..... (11)}$$

Tiga elemen di pertama dari persamaan 11 merupakan perubahan tinggi energi total sedangkan dua elemen terakhir merupakan kehilangan (*losses*) energi karena percepatan dan gesekan. Persamaan 11 dibagi dengan *dx* dan diubah ke diferensial parsial menjadi

$$\frac{\partial(z+y)}{\partial x} + Sf + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\alpha v2}{2g}\right) + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \text{..... (12)}$$

Atau

$$\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} + Sf + \frac{\alpha v}{g}\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \text{..... (13)}$$

Untuk kemiringan saluran So = - $\partial z/\partial x$ maka

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\alpha v}{g}\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} = So - Sf \quad \text{..... (14)}$$

Persamaan-persamaan di atas merupakan persamaan dinamik untuk aliran *unsteady* pada saluran terbuka. Persamaan ini pertama kali dikemukakan oleh Saint Venant.

6.2.4 Kinerja Irigasi Permukaan

Kinerja irigasi permukaan dinyatakan dengan keseragaman (*uniformity*), efisiensi aplikasi (*application efficiency*), dan kecukupan (*adequacy*). Ketiganya penting dalam mengevaluasi desain dan manajemen irigasi permukaan.

Keseragaman

- Keseragaman menunjukkan kemerataan distribusi air di lahan.
- Besarnya tergantung waktu infiltrasi di seluruh lahan
- Keseragaman besar bila slope besar, kekasaran hidrolik kecil, debit besar, atau laju infiltrasi kecil.
- Di lapangan diukur dengan mengukur kedalaman infiltrasi di sepanjang lahan tiap jarak tertentu dan dihitung dengan keseragaman Christiansen.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |d|}{n\bar{x}}\right) 100\% \quad \text{..... (15)}$$

n = jumlah pengamatan

x = rata-rata hasil pengamatan

d = simpangan pengamatan dari rata-rata

Efisiensi aplikasi

- Efisiensi aplikasi adalah jumlah air yang digunakan oleh tanaman dibagi total air yang diberikan.
- Efisiensi aplikasi akan besar bila debit kecil, panjang lahan besar, kekasaran hidrolik besar, slope kecil, atau laju infiltrasi besar.
- Efisiensi aplikasi dihitung dengan:

$$Ea = \frac{RZ}{\forall} 100\% \quad \text{..... (16)}$$

RZ = jumlah air yang tersimpan di zone perakaran

$$RZ = \frac{D(\theta_{fc} - \theta_i)}{100} = \forall - DP - RO$$

$\forall$ = total air yang diberikan

$$\forall = \frac{Qt}{A}$$

Kecukupan

- Kecukupan adalah banyaknya bagian lahan yang menerima air cukup untuk mempertahankan kuantitas dan kualitas produksi tanaman pada tingkat menguntungkan.
- Kecukupan seringkali didekati dengan efisiensi simpanan.

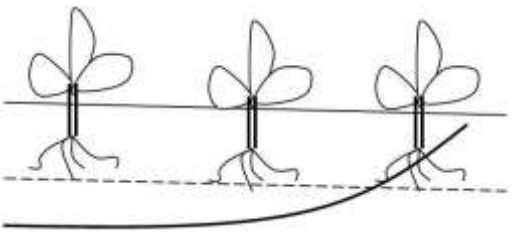
$$Es = \frac{S_{rz}}{S_{fc}} 100\% \quad \text{..... (17)}$$

S_{rz} = jumlah air tersimpan di zone perakaran selama irigasi

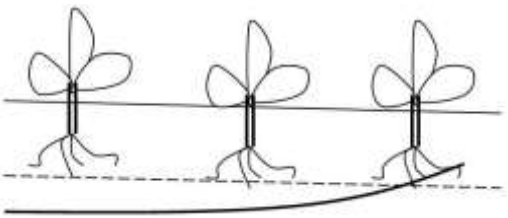
S_{fc} = jumlah air yang diperlukan untuk membuat zone perakaran pada kondisi kapasitas lapang

Contoh hubungan antar kinerja irigasi permukaan:

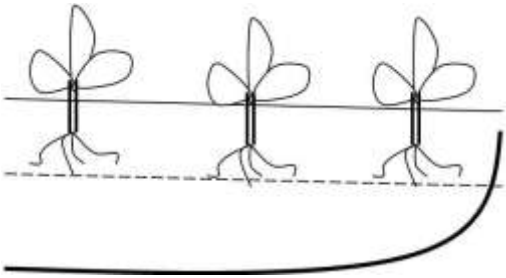
CU rendah
Ea rendah
Es tinggi



CU tinggi
Ea tinggi
Es rendah



CU tinggi
Ea rendah
Es tinggi

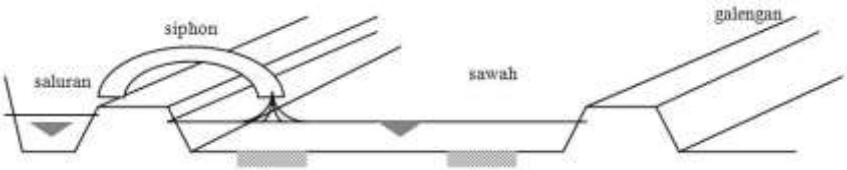


6.2.5 Irigasi Genangan/Sawah (*Basin Irrigation*)

Sistem irigasi ini banyak digunakan untuk tanaman padi. Air diberikan melalui siphon, saluran maupun pintu air ke kolam kemudian ditahan di kolam dengan kedalaman dan selama waktu yang dikehendaki.

Irigasi sawah paling cocok untuk untuk tanah dengan laju infiltrasi sedang sampai rendah (± 50 mm/jam). Topografi lahan yang sesuai adalah kemiringan kecil (slope = 0-0,5). Apabila lahan miring atau bergelombang perlu diratakan (*levelling*) atau dibuat teras.

Operasi dapat dilaksanakan oleh tenaga yang tidak ahli. Teknik pemberiaan air dengan genangan dapat digunakan untuk tanaman apapun dengan memerhatikan desain, layout, dan prosedur operasinya.



Gambar 6.6. Contoh Irigasi Genangan

Prosedur desain irigasi genangan:

1. Menentukan layout petak
   - lokasi sumber air sedapat mungkin berada pada posisi yang memungkinkan seluruh lahan diairi secara gravitasi
   - bentuk lahan biasanya mengikuti topografi, tetapi bila memungkinkan bentuk bentuk segi empat merupakan bentuk yang paling menguntungkan

- ukuran lahan (panjang dan lebar) ditentukan berdasarkan kapasitas infiltrasi dan debit

2. Menentukan kebutuhan air irigasi
3. Menentukan waktu infiltrasi (*opportunity time*) yaitu waktu yang diperlukan untuk air untuk meresap ke dalam tanah
4. Menentukan debit irigasi, debit harus cukup besar untuk memberikan air yang seragam ke seluruh lahan tetapi tidak terlalu besar sehingga dapat menimbulkan erosi
5. Menentukan waktu pemberian air irigasi (*inflow time*) yaitu waktu yang diperlukan untuk meresapkan sejumlah air yang diperlukan ke seluruh lahan.

6.2.6 Irigasi Luapan (*Border*)

Irigasi luapan dilakukan dengan membuat galengan yang sejajar untuk menggiring selapis tipis air bergerak dari satu sisi ke sisi lahan yang lain. Lahan dibagi menjadi beberapa strip sejajar yang dipisahkan oleh galengan kecil. Sifat irigasi luapan ini adalah memberikan air irigasi dalam jumlah seragam di lahan.

Irigasi luapan dapat cocok diterapkan di lahan dengan permukaan relatif datar atau dapat dibuat datar dengan murah dan tanpa mengurangi produksi. Umumnya irigasi luapan baik untuk untuk tanah dengan kapasitas infiltrasi sedang sampai rendah. Seringkali metode ini tidak cocok diterapkan di tanah pasiran kasar.

Tahap-tahap desain irigasi genangan dapat diterapkan untuk desain irigasi luapan. Tahap terakhir ditambahkan menentukan jumlah jalur yang akan diairi setiap pemberian irigasi.

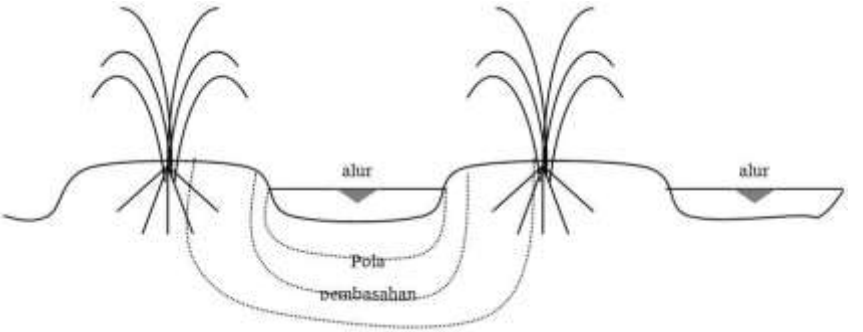
6.2.7 Irigasi Alur (*Furrow Irrigation*)

Irigasi alur dilakukan dengan mengalirkan air melalui alur-alur atau saluran kecil yang dibuat searah atau memotong slope. Air masuk ke dalam permukaan tanah dari dasar alur dan dinding alur. Teknik ini cocok untuk tanah berderet dengan tekstur me-dium sampai halus untuk mengalirkan air vertikal dan horisontal.

Desain irigasi alur meliputi panjang alur, jarak antar alur, dan kedalaman alur. Panjang alur berkisar 100-200 m dengan

memerhatikan perkolasi dan erosi. Jarak antar alur 1-2 m tergantung jenis tanaman dan sifat tanah. Kedalaman alur 20-30 cm untuk memudahkan pengendalian dan penetrasi air.

Kelebihan dari irigasi alur ini adalah mengurangi kehilangan akibat evaporasi, mengurangi pelumuran tanah berat, dan mempercepat pengolahan tanah setelah pemberian air. Irigasi alur cocok untuk memberikan air pada tanaman yang mudah rusak bila bagian tanamannya terkena air. Tenaga kerja yang diperlukan untuk mengoperasikan sistem ini relatif lebih besar daripada irigasi kolam.



Gambar 6.7. Penampang Irigasi Alur

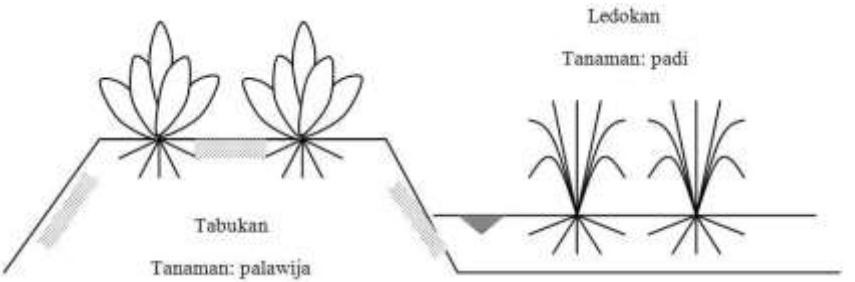
Tahap-tahap desain irigasi alur:

1. Menentukan layout petak
   - lokasi sumber air sedapat mungkin berada pada posisi yang memungkinkan seluruh lahan diairi secara gravitasi
   - panjang alur lebih pendek menghasilkan kinerja efisiensi aplikasi dan keseragaman lebih baik
2. Menentukan kebutuhan air irigasi
3. Menentukan waktu infiltrasi (*opportunity time*) yaitu waktu yang diperlukan untuk air untuk meresap ke dalam tanah
4. Menentukan debit irigasi
   - debit harus cukup besar untuk memberikan air yang seragam ke seluruh lahan tetapi tidak terlalu besar sehingga dapat menimbulkan erosi

5 . Menentukan waktu pemberian air irigasi (*inflow time*) yaitu waktu yang diperlukan untuk meresapkan sejumlah air yang diperlukan ke seluruh lahan.
6. Menentukan jarak antar alur
   - Jarak antar alur ditentukan dengan memerhatikan jarak alur tanaman dan pola pembasahan yang diakibatkan infiltrasi horisontal dan vertikal
7. Menentukan bentuk dan ukuran alur
   - Alur dapat berbentuk V atau U
   - Ukuran penampang alur harus seragam sepanjang alur untuk mencegah penimbunan air
   - Alur dangkal harus dibuat pada lahan dengan slope seragam
   - Alur dengan dasar lebar memungkinkan infiltrasi lebih besar karena permukaan infiltrasinya lebih luas
   - Alur dalam mengurangi kemungkinan water logging pada saat hujan tetapi pada saat pemberian air irigasi memerlukan volume pemberian air lebih banyak.
8. Menentukan jumlah alur yang diairi setiap pemberian air irigasi.

6.2.8 Irigasi Surjan

Teknik pemberian air “surjan” dikembangkan di daerah rawan banjir atau daerah genangan. Pada daerah surjan, sebagian lahan ditinggikan (tabukan) dan sebagian diturunkan (ledokan). Disain surjan yang meliputi lebar tabukan dan ledokan serta panjang tabukan dan ledokan disesuaikan dengan frekuensi dan tinggi banjir.



Gambar 6.8. Penampang Lahan Surjan

Bagian tabukan ditanami padi pada musim hujan dan ditanami palawija pada musim kemarau sedangkan bagian ledokan ditanami palawija sepanjang tahun. Fungsi utama surjan adalah untuk memanfaatkan genangan di ledokan pada musim hujan sekaligus sebagai upaya untuk konservasi lengas tanah. Di samping itu bagi petani surjan juga membantu mengurangi resiko kegagalan pada satu jenis tanaman.

6.3 Irigasi Curah (*Sprinkler*)

6.3.1 Pendahuluan

Irigasi curah atau siraman (*sprinkler*) menggunakan tekanan untuk membentuk tetesan air yang mirip hujan ke permukaan lahan pertanian. Disamping untuk memenuhi kebutuhan air tanaman, sistem ini dapat pula digunakan untuk mencegah pembekuan, mengurangi erosi angin, memberikan pupuk, dan lain-lain. Pada irigasi curah air dialirkan dari sumber melalui jaringan pipa yang disebut *mainline* dan *sub-mainline* dan ke beberapa lateral yang masing-masing mempunyai beberapa mata pencurah (*sprinkler*).

Sprinkler digunakan pada:

1. tanah porus
2. solum tanah dangkal
3. kemiringan tanah tajam
4. tanah peka erosi
5. air terbagat
6. tanah bergelombang
7. tenaga terampil terbatas

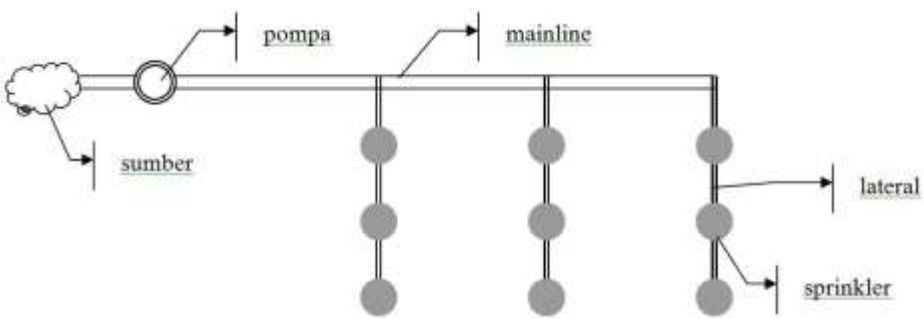
Keuntungan pemakaian irigasi curah:

1. mengukuran air lebih mudah
2. tidak mengganggu pekerjaan pertanian dan hemat lahan
3. efisiensi air tinggi
4. investasi dengan mempertimbangkan kebutuhan
5. jaringan distribusi luwes dan memungkinkan otomasi sehingga O&P lebih murah

6.3.2 Bagian-bagian sistem irigasi curah

Bagian-bagian sistem irigasi curah meliputi:

1. pompa
2. pipa *mainline*
3. pipa lateral
4. pencurah (*sprinkle)*



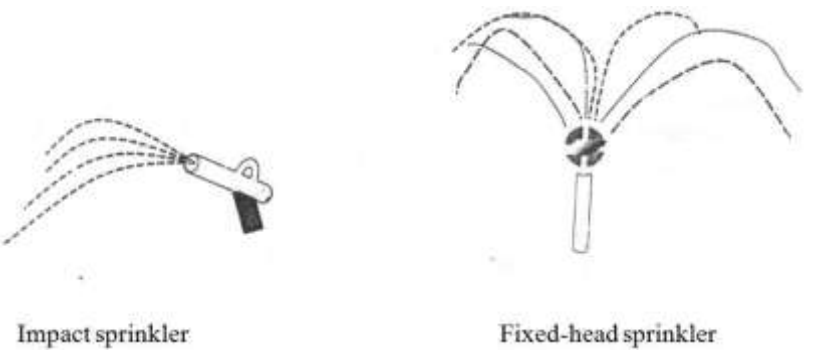
Gambar 6.9. Komponen Irigasi Sprinkler

Tipe pencurah:

1. Impact sprinkler
   - Mempunyai satu atau lebih lubang (*nozzle*) untuk mengalirkan air ke udara
   - Mempunyai per untuk mengatur, membuka dan menutup lubang
   - Constant diameter: dari kuningan atau plastik, banyak digunkan karena debit yang melaluinya proporsional terhadap tekanan

- Constant discharge: didesain dengan tekanan > nilai treshold sehingga perubahan tekanan tidak berpengaruh terhadap debit, digunakan bila debit bervariasi
- Diffuse-jet nozzle: didesain untuk tekanan rendah

2. Gear-driven sprinkler
   - Dilengkapi turbin kecil di bagian dasar sprinkler untuk memompa air
   - Pancaran/curahan air lebih lembut daripada impact
3. Reaction sprinkler
   - Rotasi sprinkler dipengaruhi torsi yang diakibatkan air meninggalkan lubang
   - Bila dioperasikan pada tekanan rendah kemampuannya lebih rendah
4. Fixed-head sprinkler
   - Lubang permanen > 1 buah



Gambar 6.10. Contoh Pencurah

Klasifikasi pipa sprinkler:

1. Mainline: menyadap air dari sumber dan dibagi ke submain
2. Sub main: memasok air dari mainline ke lateral
3. Lateral: memberi air ke sprinkler

Macam-macam cara pemasangan sprinkler:

1. portable: pompa, mainline, submain, lateral dan sprinkler dapat dipindahkan dari lahan ke lahan

2 . semi portable: pompa tetap, yang lain dapat dipindahkan
3. semi permanen: pompa tetap dan mainline permanen, lainnya dapat dipindahkan
4. permanent: lokasi pompa, mainline, submain, lateral dan sprinkler tetap

6.4 Kinerja Sprinkler

Kinerja sprinkler dipengaruhi oleh variasi tekanan dan jenis nozzle.

1. Debit sprinkler

   Debit sprinkler adalah volume air yang keluar dari sprinkler per satuan waktu.

$$Q = \sum_{i=1}^{n} KC_i A_i P_i^{xi}$$

   dengan:

   Q = debit sprinkler

   n = jumlah nozzle

   K = konstanta, tergantung satuan yang digunakan

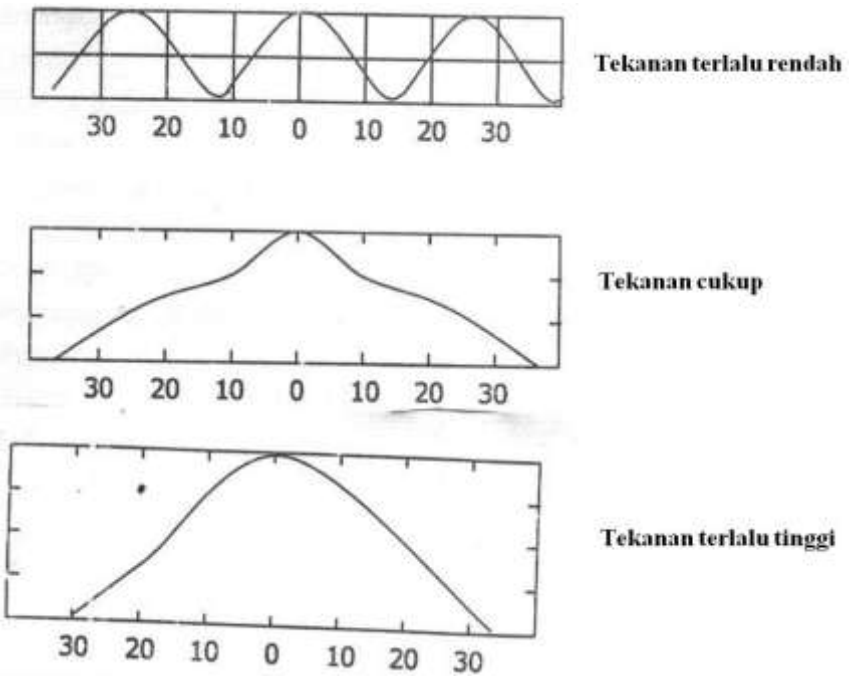
   c = koefisien, tergantung bentuk dan kekasaran bukaan nozzle A = luas penampang melintang bukan nozzle

   P = tekanan operasi nozzle

   x = fungsi eksponensial nozzle (0,5)

2. Jarak lemparan
   - Jarak antar sprinkler yang berdekatan dipengaruhi oleh jarak lempar sprinkler
   - Jarak bertambah bila kemampuan melempar sprinkler naik
   - Dipengaruhi teknan operasi, bentuk, serta sudut lemparan
   - Pabrik mengeluarkan publikasi diameter pembasahan untuk berbagai macam tekanan, ukuran nozzle, bentuk dan sudut nozzle.

3 . Pola distribusi
   - Volume air yang digunakan bervariasi terhadap jarak dari sprinkler
   - Pola distribusi tergantung tekanan operasi (lihat Gambar 11), nozzle dan angin
   - Bentuk nozzle dan ukuran bukaan biasanya tidak berpengaruh terhadap pola distribusi
4. Rata-rata aplikasi
   - Parameter yang penting untuk aplikasi terhadap tanah, tanaman, dan daerahnya
   - Bila aplikasi besar akan menyebabkan run off dan erosi
   - $A = k\frac{Q}{a}$
   - Dengan: A = rata-rata aplikasi, Q = debit sprinkler, a = luas areal pembasahan, k = konstanta satuan
   - Untuk beberapa sprinkler serupa yang diletakkan dalam grid L dan S: $A = k\frac{Q}{LS}$
   - Dengan: Q = debit sprinkler individu, L = jarak antar lateral, S = jarak antar sprinkler dalam lateral
5. Ukuran tetesan (*droplets*)
   - Ukuran tetesan berpengaruh terhadap daya dispersi ke tanah
   - Ukuran tetesan mempengaruh pola distribusi bila ada angin karena ukuran tetesan kecil lebih peka terhadap angin



Gambar 6.11. Variasi Pola Distribusi Sprinkler Tunggal Terhadap Tekanan

6.5 Pemilihan Sprinkler

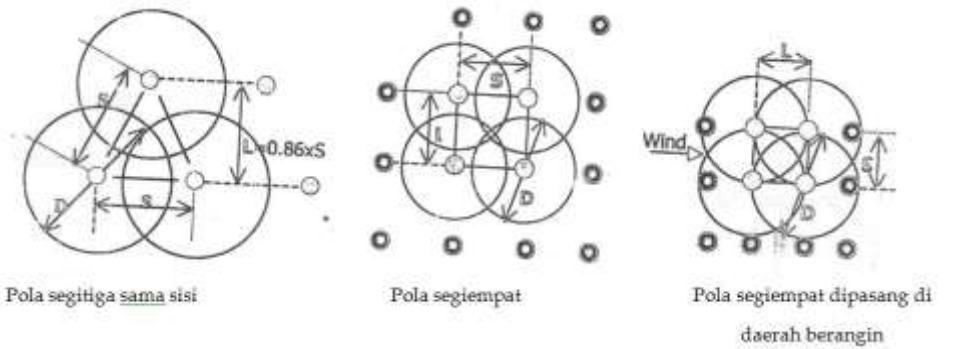
Pemilihan sprinkler dilakukan dengan mempertimbangkan biaya, tekanan operasi, dan kemampuan untuk memenuhi desain dengan keseragaman yang baik dan tidak menimbulkan *run off*.

Pertimbangan dalam pemilihan sprinkler:

1. Kapasitas debit
   - Sprinkler harus mencukupi DDIR (*Design Daily Irrigation Requirement*) dengan mempertimbangkan angin dan kehilangan karena evaporasi setelah air keluar dari sprinkler sebelumsampai ke permukaan daun dan tanah
2. Tekanan operasi
   - Sprinkler harus dioperasikan dengan tekanan minimal dengan keseragamaan dan efisiensi yang tinggi guna mengurangi konsumsi energi dan menghemat biaya operasi

- Setiap sprinkler keluaran pabrik sudah dilengkapi dengan informasi kinerja

3. Lain-lain
   - Sudut nozzle, ukuran tetesan, jarak lemparan, dan pola aplikasi harus diketahui dan disesuaikan dengan angin, tanaman, dan sistem yang digunakan
   - Sudut nozzle tergantung kecepatan angin dan tinggi tanaman
   - Ukuran tetesan kecil cocok untuk tanah terbuka, tetesan besar cocok untuk daerah berangin.



Gambar 6.12. Pola Pemasangan Sprinkler

6.6 Irigasi Tetes (*Trickle*)

6.6.1 Pendahuluan

Irigasi tetes adalah suatu sistem untuk memasok air (dan pupuk) tersaring ke dalam tanah melalui suatu pemancar (*emiter*). Irigasi tetes menggunakan debit kecil dan konstan serta tekanan rendah. Air akan menyebar di tanah baik ke samping maupun ke bawah karena gaya kapiler dan gravitasi. Bentuk sebarannya tergantung jenis tanah, kelembapan, permeabilitas tanah, dan jenis tanaman. Cocok untuk buah-buahan yang banyak mengandung air sewaktu panen (tomat, jeruk, anggur, arbeil, dsb.). Tidak praktis dan ekonomis untuk tanaman rapat.

Beberapa metode irigasi tetes:

1 . Drip irigation

Air diaplikasikan ke tanah pada satu titik dalam bentuk tetesan-tetesan melalui emiter *point*.

2. Subsurface irrigation

Air diaplikasikan di bawah permukaan tanah menggunakan emiter *point* maupun *line source*.

3. Bubbler irrigation

Air diaplikasikan ke permukaan tanah dengan aliran kecil.

4. Spray irrigation

Air diaplikasikan melalui *microsprinkler* untuk membuat semprotan kecil di dekat permukan tanah.

Keuntungan trickle:

1. Efisiensi penggunaan air sangat tinggi karena evaporasi mini-mum, tidak ada gerakan air di udara, tidak ada pembasahan daun, tidak ada runoff, serta pengairan dibatasi di sekitar tanaman pokok. Penghematan air 30-50%. Efisiensi mendekati 100%.
2. Respon tanaman terhadap sistem ini lebih baik dalam hal produksi, kualitas, dan keseragaman produksi:
   a. Tidak mengganggu aerasi tanah, dapat dipadu dengan unsur hara, tekanan rendah sehingga tidak mengganggu keseimbangan kadar lengas
   b . Mengurangi perkembangan serangga, penyakit, dan jamur karena air anya diberikan terbatas pada tanaman pokok
   c. Penggaraman/pencucian garam lebih efektif kaena ada isolasi lokasi. Gula tidak tumbuh tanpa air
3. Lahan tidak terganggu karena pengolahan tanah, siraman, dll. Serta mengurangi run off dan meningkatkan drainasi permukaan.

4 . Perencanaan dan konstruksi irigasi tetes murah bila penyumbatan tidak terjadi dan pemeliharaan emiter minimum. O&P murah.
5. Bisa diletakkan di bawah mulsa plastik, tidak terpengaruh angin, bisa diterapkan di daerah bergelombang.

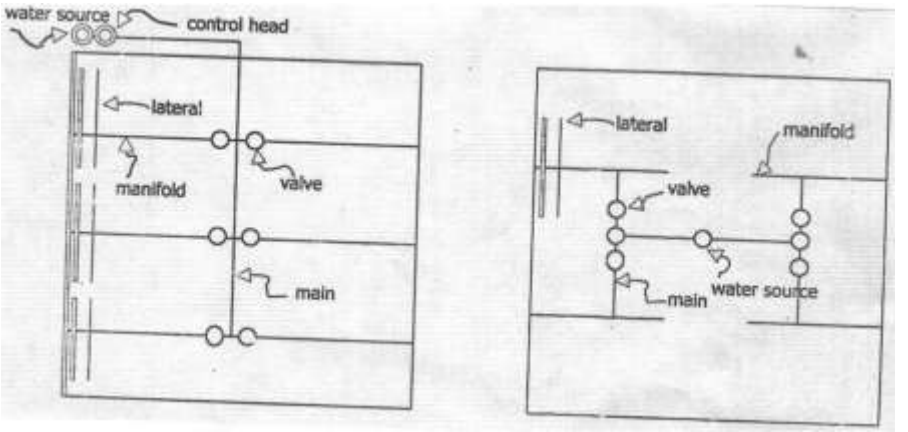
Problem:

1. Penyumbatan saluran dan emiter oleh pasir atau lumut menyebabkan kapasitas aliran dan distribusi tidak baik.
2. Pengendapan garam-garaman yang tidak larut dalam air di ujung emiter.
3. Akibat pemberian terbatas, perkembangan akar dan daya tahan tanaman terbatas

6.6.2 Bagian-bagian Trickle Bagian-

bagian sistem irigasi tetes:

1. Control head: ditempatkan di sumber air
2. Mainline: mensuplai manifold
3. Manifold: mensuplai lateral line
4. Lateral: merupakan tempat emiter



Gambar 6.13. Bagian-Bagian Trickle

Kebutuhan teknis emiter:

1 . memberikan debit rendah, uniform, dan konstan
   - debit 2-10 lt/jam pada tekanan tinggi (10 m atau 1 atm) untuk mengantisipasi akibat beda tinggi yang disebabkan elevasi dan gesekan dalam pipa
   - harus dirancang seteliti mungkin (⌀ = 2,00 mm) agar debit seminimum mungkin (toleransi ±10%)
   - karakteristik hidrolik aliran tidak berpengaruh besar pada tekanan dan debit.
2. memberikan penampang aliran yang besar
   - untuk menurunkan tekanan dari debit rendah digunakan ⌀ 0,3-1,0 mm
3. biaya rendah
   - biaya 25-35% untuk emiter, selebihnya untuk pipa, sambungan, control head, dll.

Tipe emiter:

1. berdasarkan regim aliran:
   - laminar flow: emiter mempunyai alur yang panjang dan debit rendah
   - partially turbulent flow: long path, multi-exit emiter, debit tinggi, orifice type emitter
   - fully turbulent flow
2. berdasarkan hilangnya tekanan: long path, gesekan, small nozzle
   - berdasarkan hubungan dengan lateral: in-line, on-line (banyak digunakan), riser
   - berdasarkan distribusi air: single exit point, several exit point, distribute along lateral
   - berdasarkan penampang alur: very sensitive <0,7 mm, sensitive 0,7-1,5 mm, relatively sensitive >1,5 mm
   - berdasarkan sifat pembersihan: automatic flushing, orifice, manual
   - berdasarkan kompensasi tekanan
   - berdasarkan bahan/material: PVC, PE, ABS

6.6.3 Perancangan Irigasi Tetes

Komponen perancangan:

1 . Ke dalam aplikasi
2. Prosen luas pembasahan
3. Perubahan tekanan
4. Kantong penangkap udara
5. Kelep
6. Ekonomis

6.7 Komponen Irigasi dalam Sistem Hidroponik

6.7.1 Pendahuluan

Hidroponik berasal dari bahasa latin yang terdiri dari kata *hydro* yang berarti air dan *ponos* yang berarti kerja. Hidroponik diartikan sebagai pengerjaan atau pengelolaan air sebagai media tumbuh tanaman dan tempat mengambil unsur hara yang diperlukan pada budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam. Tanaman yang dibudidayakan secara hidroponik biasanya tanaman sayuran, buah-buahan atau bunga yang bernilai ekonomis tinggi. Perkembangan teknologi hidroponik didorong oleh peningkatan kebutuhan akan sayuran sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk serta peningkatan kesadaran akan pentingnya sayuran bagi kesehatan.

Beberapa kelebihan sistem hidroponik dibandingkan penanaman pada media tanah antara lain: kebersihan lebih mudah dijaga, tidak ada masalah berat seperti pengolahan tanah dan gulma, penggunaan air dan pupuk sangat efisien, tanaman dapat diusahakan terus tanpa tergantung musim, tanaman dapat berproduksi dengan kualitas tinggi, produktivitas tanaman lebih tinggi, tanaman mudah diseleksi dan dikontrol dengan baik, dapat diusahakan di lahan yang sempit. Tanaman yang dibudidayakan secara hidroponik dapat tumbuh dengan baik jika daerah perakarannya memperoleh cukup udara, air, dan unsur hara. Pemberian nutrisi atau unsur hara merupakan faktor yang menentukan dalam usaha hidroponik. Nutrisi diberikan dalam bentuk larutan harus secara tepat jumlah, komposisi ion, maupun temperatur.

6.7.2 Macam-macam Sistem Hidroponik

Berdasarkan definisinya, prinsip dari hidroponik adalah bercocok tanam dengan media bukan tanah. Berdasarkan jenis medianya sistem hidroponik dibedakan menjadi:

1. Hidroponik dengan kultur air

   Sistem ini mengunakan larutan nutrisi sebagai medianya. Contoh dari sistem ini adalah *Nutrient Film Technique* (NFT) dan *Floating Hydroponic System* (FHS).

2. Hidroponik substrat

   Sistem ini menggunakan media tanam yang berupa suatu bahan porus selain tanah. Contoh media tanam yang biasa digunakan adalah pasir, potongan kayu, serbuk kayu, arang kayu, sabut kelapa, batang pakis, dan arang sekam.

Larutan nutrisi merupakan faktor penting dalam bercocok tanam hidroponik. Oleh karena itu, disamping komposisi larutannya sendiri, cara pemberian larutan nutrisi sangat di-perhatikan dalam sistem hidroponik. Berdasarkan cara pemberian larutan nutrisinya, hidroponik dapat dibedakan menjadi:

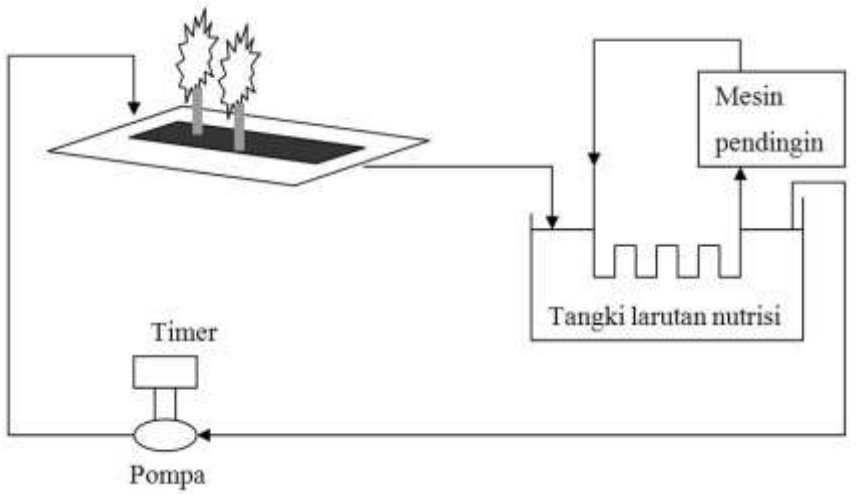
1. sistem sirkulasi

   contoh: NFT

2. sistem non-sirkulasi
3. contoh: FHS, hidroponik substrat

6.7.3 Nutrient Film Technique (NFT)

Pada sistem NFT, air yang mengandung nutrisi dialirkan secara dangkal pada deretan akar tanaman. Perakaran dapat berkembang sebagian di dalam larutan nutrisi dan sebagian lainnya berkembang di atas permukaan larutan. Aliran larutan sangat dangkal sehingga bagian atas perakaran yang berkembang di atas air meskipun lembap masih tetap berada di udara. Karena tipisnya lapisan air maka muncul istilah *Nutrient Film Technique* (NFT) yang didefinisikan sebagai metode budidaya tanaman di mana akar tanaman tumbuh pada lapisan nutrisi yang dangkal dan tersirkulasi yang memungkinkan tanaman memperoleh, air, nutrisi, dan oksigen secara cukup. Gambar 0.14. menunjukkan skema sistem NFT.



Gambar 6.14. Skema Sistem NFT Yang Dilengkapi Sistem Pendingin

Pada sistem NFT, tanaman ditegakkan di atas sejumlah saluran yang disusun berderet-deret seperti barisan guludan tanaman. Saluran yang digunakan biasanya talang berbentuk segi empat yang biasa dipakai sebagai talang rumah atau *fiberglass* yang dirancang khusus. Agar dapat tegak, batang tanaman dijepit dengn *styrofoam* yang disambung-sambung sepanjang permukaan atas talang sehingga aliran air di talang terlindungi dan bagian dasar talang menjadi gelap sehingga tidak tumbuh lumut.

Dalam sistem konvensional, keseimbangan antara air dan oksigen selalu berubah. Bila ketersediaan air berlebih maka jumlah oksigen menjadi tidak memadai. Pada sistem NFT, kedua unsur selalu tersedia cukup di daerah perakaran. Untuk membuat lapisan nutrisi diperlukan syarat-syarat:

1. Kemiringan talang tempat mengalirnya larutan nutrisi ke bawah benar-benar seragam
2. Kecepatan aliran nutrisi tidak boleh terlalu tinggi dengan mempertimbangkan kemiringan talang
3. Lebar talang harus memadai untuk menghindari terbendungnya aliran nutrisi oleh kumpulan akar

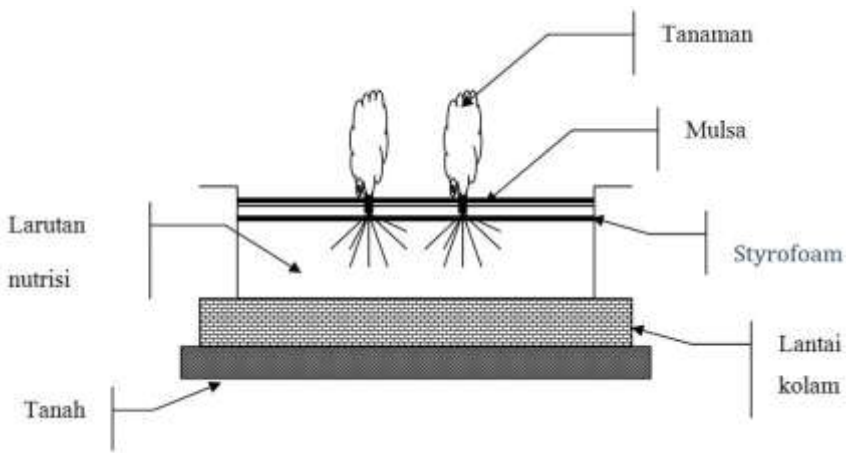
4 . Dasar talang harus rata dan tidak melengkung untuk mencapai kedalaman nutrisi yang disyaratkan
5. Larutan nutrisi disirkulasikan secara berkala.

Kekurangan sistem NFT adalah:

1. Membutuhkan suplai listrik terus menerus karena apabila listrik mati selama beberapa jam terutama siang hari, tanaman terancam mati total.
2. Bila terjadi infeksi penyakit terhadap salah satu tanaman, maka seluruh tanaman akan tertular dalam waktu singkat.
3. Membutuhkan investasi awal yang besar.

6.7.4 Floating Hydroponic System (FHS)

Floating Hydroponic System (FHS) adalah budidaya tanaman dengan cara menancapkan tanaman pada lubang *styrofoam* yang mengapung pada larutan nutrisi dalam suatu bak atau kolam sehingga akar tanaman terendam dan dapat menyerap larutan nutrisi. Gambar 0.15 menunjukkan skema hidroponik dengan FHS.



Gambar 6.15. Skema Sistem FHS

Pada sistem ini larutan nutrisi tidak disirkulasikan melainkan tetap pada wadah yang digunakan. Larutan nutrisi dapat didaur ulang dengan cara mengontrol kepekatan larutan nutrisi dalam jangka waktu kurang lebih satu minggu.

Karakteristik dari sistem ini adalah terisolasinya lingkungan perakaran sehingga fluktuasi suhu larutan nutrisi akan lebih rendah. Fluktuasi suhu harian larutan nutrisi dalam sistem ini dipengaruhi selain oleh kondisi lingkungan juga umur tanaman dan kedalaman larutan nutrisi. Selain itu sistem ini dapat diterapkan tanpa menggunakan energi listrik. Peralatan yang diperlukan untuk membudidayakan tanaman dengan FHS adalah kolam hidroponik, aerator, dan styrofoam.

6.7.5 Hidroponik substrat

Hidroponik substrat adalah metode budidaya tanaman d imana akar tanaman tumbuh pada media porus selain tanah yang dialiri larutan nutrisi sehingga memungkinkan tanaman memperoleh air, nutrisi, dan oksigen secara cukup. Media tanam yang baik mempunyai karakteristik dapat menyerap dan menghantarkan air, tidak mempengaruhi pH air, tidak berubah warna, tidak mudah lapuk. Media tanam yang digunakan dapat berasal dari bahan organik maupun anorganik.

Media tanam anorganik adalah media tanam yang sebagian besar komponennya terdiri dari benda mati serta tidak menyediakan nutrisi bagi tanaman. Media tanam anorganik pada umumnya memiliki pori-pori mikro dan makro yang seimbang sehingga sirkulasi udaranya cukup baik dan daya serap airnya cukup tinggi. Contoh media tanam anorganik: pasir, kerikil alam, kerikil sintetik, batu kali, batu apung, pecahan bata atau genting, spons dan serabut batuan (*rockwool*).

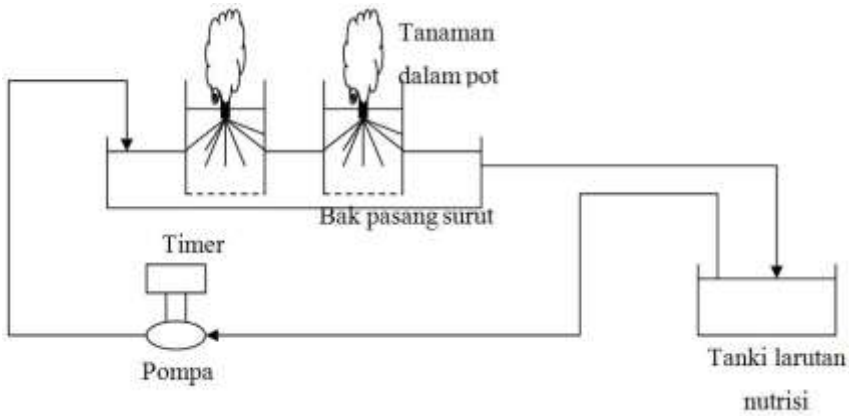
Media tanam organik adalah media tanam yang sebgaian besar komponennya terdiri dari organisme hidup seperti bagian tanaman (batang, daun, kulit kayu). Bahan organik ini mengalami pelapukan sehingga terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme yang menghasilkan CO_2, H_2O, dan mineral. Contoh media tanam organik: gambut, potongan kayu, serbuk gergaji, kertas, arang kayu, sabut kelapa, batang pakis dan arang sekam. Masing-masing media tanam mempunyai sifat tersendiri seperti kemampuannya mengikat lengas yang ditentukan oleh ukuran partikel, bentuk, dan porositasnya. Air diikat pada

permukaan partikel dan permukaan pori. Semakin kecil ukuran partikel semakin luas permukaan dan jumlah pori sehingga semakin besar pula kemampuan menahan air. Bentuk partikel yang tidak beraturan mempunyai luas permukaan yang besar sehingga kemampuan menahan airnya pun lebih benar. Pilihan jenis media ditentukan berdasarkan ketersediaan biaya, kualitas dan jenis hidroponik yang digunakan.

Pada sistem ini larutan nutrisi diberikan pada media tanam secara langsung melalui penetes (*emitter*) secara sinambung dan perlahan dekat tanaman. Setelah keluar dari penetes, air akan menyebar ke dalam profil tanah secara vertikal dan horisontal oleh gaya kapilaritas ditambah gaya gravitasi. Aliran dapat diatur secara manual maupun otomatis untuk menyalurkan volume air yang diinginkan dan waktu yang ditetapkan serta menyalurkan air apabila kelembapan air menurun sampai jumlah tertentu. Pemberian larutan nutrisi pada sistem hidroponik substrat harus tepat dari segi jumlah, komposisi ion, maupun temperatur. Selama ini sebagai dasar pemberian larutan nutrisi hanya dipakai pengamatan cuaca saja. Oleh karena itu sering terjadi banyak larutan nutrisi terbuang percuma atau sebaliknya terjadi kekurangan air. Optimasi pemberian larutan nutrisi sangat diperlukan untuk menjga tanaman memperoleh larutan nutrisi dengan tepat dan mencegah pembuangan larutan nutrisi.

Frekuensi pemberian larutan nutrisi dan air dalam campuran larutan nutrisi tergantung pada permukaan substrat, tahap pertumbuhan tanaman dan faktor iklim. Substrat dengan permukaan kasar dan berbentuk teratur perlu disiram lebih sering daripada yang berbentuk tak teratur, porus, dan berukuran kecil-kecil. Untuk memenuhi kebutuhan tanaman secara efisien, selama proses pemberiannya, larutan nutrisi harus melembapkan barisan tanaman secara seragam dan terdrainase sempurna sehingga oksigen tersedia bagi akar tanaman. Di samping dengan irigasi tetes, cara lain untuk memberikan larutan nutrisi pada hidroponik substrat adalah dengan sistem pasang surut (*ebb and flow*) seperti nampak pada Gambar 0.16. pada sistem ini tanaman ditanam dalam pot dan diletakkan dalam suatu bak. Bak digenangi

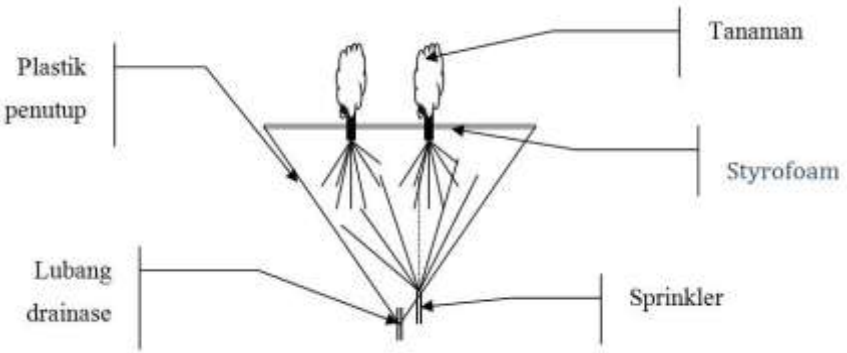
dengan larutan nutrisi selama beberapa saat sehingga larutan nutrisi membasahi substrat secara kapiler. Penggenangan diikuti dengan pengeringan bak untuk memberi kesempatan larutan nutrisi terdrainase dan oksigen mengisi pori-pori substrat. Dengan demikian komposisi larutan nutrisi dan oksigen terjaga seimbang. Penggenangan dan pengeringan dapat dilakukan secara manual maupun otomatis dengan pengatur waktu (*timer*) maupun sen-sor kadar lengas pada pot-pot tanaman.



Gambar 6.16. Sistem Irigasi Pasang Surut Pada Hidroponik Substrat

6.7.6 Aeroponik

Sampai saat ini masih belum jelas apakah aeroponik digolongkan dalam hidroponik atau merupakan golongan tersendiri. Aeroponik adalah cara bercocok tanam dimana akar tanaman tergantung di udara dan disemprot dengan larutan nutrisi secara terus menerus. Skema aeroponik dapat dilihat pada Gambar 6.17.



Gambar 6.17. Skema Sistem Aeroponik

6.7.7 Rumah Kaca (*Greenhouse*)

Tanaman hidroponik biasanya dibudidayakan dalam *green-house* atau rumah kaca. Di negara-negara subtropis rumah kaca dibangun dengan tujuan melindungi tanaman dari suhu luar yang rendah terutama pada musim dingin. Di negara beriklim tropis rumah kaca berfungsi untuk melindungi tanaman dari curah hujan langsung serta dari serangan hama.

Sebagai bangunan perlindungan tanaman, rumah kaca dapat mengatasi pengaruh buruk lingkungan di luar rumah kaca. Dengan demikian pengetahuan dasar mengenai konsep rumah kaca akan membantu memodifikasi iklim mikro agar bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman. Dari berbagai parameter yang berpengaruh, pengendalian yang sering dilakukan adalah cahaya, temperatur, dan kelembapan udara.

Untuk menghindari suhu yang terlalu tinggi, dalam rumah kaca di daerah tropis, harus dirancang ventilasi yang memadai. Apabila perlu dapat ditambahkan pendingin pada rumah kaca. Ada dua macam pendingin rumah kaca yaitu *evaporative cooling* dan *zone cooling*. *Evaporative cooling* menggunakan prinsip meng-evaporasikan air untuk menurunkan suhu. Contohnya adalah penyemprotan uap air (*misting*) yang juga berfungsi untuk menaikkan kelembapan relatif udara. Akan tetapi *evaporative cooling* kurang efektif diterapkan di daerah tropis karena telah mempunyai kelembapan udara tinggi. *Zone cooling* dimaksudkan untuk men-dinginkan bagian tanaman tertentu. Contohnya adalah pendinginan larutan nutrisi pada sistem NFT seperti nampak pada Gambar 6.14.

7 SISTEM SALURAN/JARINGAN IRIGASI (IRIGASI PERMUKAAN)

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

- Menjelaskan Peta Ikhtisar
- Menjelaskan Bangunan
- Menjelaskan Standar Tanda Nama
- Menejelaskan Definisi mengenai Irigasi

7.1 Pendahuluan

Bab ini membicarakan berbagai unsur sebuah jaringan irigasi teknis, yang selanjutnya hanya akan disebut “jaringan irigasi” saja. Di sini akan diberikan definisi praktis mengenai petak primer, sekunder dan tersier. Bangunan dibagi-bagi menurut fungsinya dan akan dijelaskan juga pemakaiannya. Rekomendasi/ anjuran mengenai pemilihan tipe bangunan pengukur dan pengatur diberikan dalam bab ini. Penjelasan yang lebih terinci akan diberikan dalam bagian-bagian Kriteria Perencanaan lainnya. Uraian fungsional umum mengenai unsur-unsur jaringan irigasi akan merupakan bimbingan bagi para perekayasa dalam menyiapkan perencanaan tata letak dan jaringan irigasi.

7.2 Petak Ikhtisar

Peta ikhtisar adalah cara penggambaran berbagai macam bagian dari suatu jaringan irigasi yang saling berhubungan. Peta ikhtisar tersebut dapat dilihat pada peta tata letak.

Peta ikhtisar irigasi tersebut memperlihatkan :

- Bangunan-bangunan utama
- Jaringan dan trase saluran irigasi
- Jaringan dan trase saluran pembuang
- Petak-petak primer, sekunder dan tersier
- Lokasi bangunan
- Batas-batas daerah irigasi
- Jaringan dan trase jalan
- Daerah-daerah yang tidak diairi (misal desa-desa)

Daerah-daerah yang tidak dapat diairi (tanah jelek, terlalu tinggi dsb).

Peta ikhtisar umum dibuat berdasarkan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur dengan skala 1:25.000. Peta ikhtisar detail yang biasa disebut peta petak, dipakai untuk perencanaan dibuat dengan skala 1:5.000, dan untuk petak tersier 1:5.000 atau 1:2.000.

7.2.1 Petak tersier

Perencanaan dasar yang berkenaan dengan unit tanah adalah petak tersier. Petak ini menerima air irigasi yang dialirkan dan diukur pada bangunan sadap (off take) tersier yang menjadi tanggung jawab Dinas Pengairan. Bangunan sadap tersier mengalirkan airnya ke saluran tersier. Di petak tersier pembagian air, eksploitasi dan pemeliharaan menjadi tanggung jawab para petani yang bersangkutan, di bawah bimbingan pemerintah. Ini juga menentukan ukuran petak tersier. Petak yang kelewat besar akan mengakibatkan pembagian air menjadi tidak efisien. Faktor-faktor penting lainnya adalah jumlah petani dalam satu petak, jenis tanaman dan topografi. Di daerah-daerah yang ditanami padi luas petak tersier idealnya maksimum 50 ha, tapi

dalam keadaan tertentu dapat ditoleransi sampai seluas 75 ha, disesuaikan dengan kondisi topografi dan kemudahan eksploitasi dengan tujuan agar pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan lebih mudah.

Petak tersier harus mempunyai batas-batas yang jelas seperti misalnya parit, jalan, batas desa dan batas perubahan bentuk medan (terrain fault). Petak tersier dibagi menjadi petak-petak kuarter, masing-masing seluas kurang lebih 8-15 ha. Apabila keadaan topografi. memungkinkan, bentuk petak tersier sebaiknya bujur sangkar atau segi empat untuk mempermudah pengaturan tata letak dan memungkinkan pembagian air secara efisien. Petak tersier harus terletak langsung berbatasan dengan saluran sekunder atau saluran primer. Perkecualian: kalau petak-petak tersier tidak secara langsung terletak di sepanjang jaringan saluran irigasi utama yang dengan demikian, memerlukan saluran tersier yang membatasi petak-petak tersier lainnya, hal ini harus dihindari. Panjang saluran tersier sebaiknya kurang dari 1.500 m, tetapi dalam kenyataan kadang-kadang panjang saluran ini mencapai 2.500 m. Panjang saluran kuarter lebih baik di bawah 500 m, tetapi prakteknya kadang-kadang sampai 800 m.

7.2.2 Petak sekunder

Petak sekunder terdiri dari beberapa petak tersier yang kesemuanya dilayani oleh satu saluran sekunder. Biasanya petak sekunder menerima air dari bangunan bagi yang terletak di saluran primer atau sekunder. Batas-batas petak sekunder pada umumnya berupa tanda-tanda topografi yang jelas, seperti misalnya saluran pembuang. Luas petak sekunder bisa berbeda-beda, tergantung pada situasi daerah. Saluran sekunder sering terletak di punggung medan mengairi kedua sisi saluran hingga saluran pembuang yang membatasinya. Saluran sekunder boleh juga direncana sebagai saluran garis tinggi yang mengairi lereng-lereng medan yang lebih rendah saja.

7.2.3 Petak primer

Petak primer terdiri dari beberapa petak sekunder, yang mengambil air langsung dari saluran primer. Petak primer dilayani oleh satu saluran primer yang mengambil airnya langsung dari sumber air, biasanya sungai. Proyek-proyek irigasi tertentu mempunyai dua saluran primer. Ini menghasilkan dua petak primer. Daerah di sepanjang saluran primer sering tidak dapat dilayani dengan mudah dengan cara menyadap air dari saluran sekunder. Apabila saluran primer melewati sepanjang garis tinggi, daerah saluran primer yang berdekatan harus dilayani langsung dari saluran primer.

7.3 Bangunan

7.3.1 Bangunan Utama

Bangunan utama (*head works*) dapat didefinisikan sebagai kompleks bangunan yang direncanakan di dan sepanjang sungai atau aliran air untuk membelokkan air ke dalam jaringan saluran agar dapat dipakai untuk keperluan irigasi. Bangunan utama bisa mengurangi kandungan sedimen yang berlebihan, serta mengukur banyaknya air yang masuk. Bangunan utama terdiri dari bendung dengan peredam energi, satu atau dua pengambilan utama pintu bilas kolam olak dan (jika diperlukan) kantong lumpur, tanggul banjir pekerjaan sungai dan bangunan-bangunan pelengkap. Bangunan utama dapat diklasifikasi ke dalam sejumlah kategori, bergantung kepada perencanaannya. Berikut ini akan dijelaskan beberapa kategori.

a. Bendung, Bendung Gerak

   Bendung *(weir*) atau bendung gerak (*barrage*) dipakai untuk meninggikan muka air di sungai sampai pada ketinggian yang diperlukan agar air dapat dialirkan ke saluran irigasi dan petak tersier. Ketinggian itu akan menentukan luas daerah yang diairi (*command area*) Bendung gerak adalah bangunan yang dilengkapi dengan pintu yang dapat dibuka untuk mengalirkan air pada waktu terjadi banjir besar dan ditutup apabila aliran kecil. Di Indonesia, bendung adalah bangunan yang paling umum dipakai untuk membelokkan air sungai untuk keperluan irigasi.

b . Bendung karet

Bendung karet memiliki dua bagian pokok yaitu tubuh bendung yang terbuat dari karet dan pondasi beton berbentuk plat beton sebagai dudukan tabung karet serta dilengkapi satu ruang kontrol dengan beberapa perlengkapan (mesin) untuk mengontrol mengembang dan mengempisnya tabung karet. Bendung berfungsi meninggikan muka air dengan cara mengembangkan tubuh bendung dan menurunkan muka air dengan cara mengempiskan tubuh bendung yang terbuat dari tabung karet dapat diisi dengan udara atau air. Proses pengisian udara atau air dari pompa udara atau air dilengkapi dengan instrumen pengontrol udara atau air (manometer).

c. Pengambilan bebas

Pengambilan bebas adalah bangunan yang dibuat di tepi sungai yang mengalirkan air sungai ke dalam jaringan irigasi, tanpa mengatur tinggi muka air di sungai. Dalam keadaan demikian, jelas bahwa muka air di sungai harus lebih tinggi dari daerah yang diairi dan jumlah air yang dibelokkan harus dapat dijamin.

d. Pengambilan dari Waduk

Waduk digunakan untuk menampung air irigasi pada waktu terjadi surplus air di sungai agar dapat dipakai sewaktu-waktu terjadi kekurangan air. Jadi, fungsi utama waduk adalah untuk mengatur aliran sungai. Waduk yang berukuran besar sering mempunyai banyak fungsi seperti untuk keperluan irigasi, tenaga air pembangkit listrik, pengendali banjir, perikanan dsb. Waduk yang berukuran lebih kecil dipakai untuk keperluan irigasi saja.

e. Stasiun pompa

Irigasi dengan pompa bisa dipertimbangkan apabila pengambilan secara gravitasi ternyata tidak layak dilihat dari segi teknis maupun ekonomis. Pada mulanya irigasi pompa hanya memerlukan modal kecil, tetapi biaya eksploitasinya mahal.

7.3.2 Jaringan Irigasi

a. Saluran irigasi

1. Jaringan irigasi utama

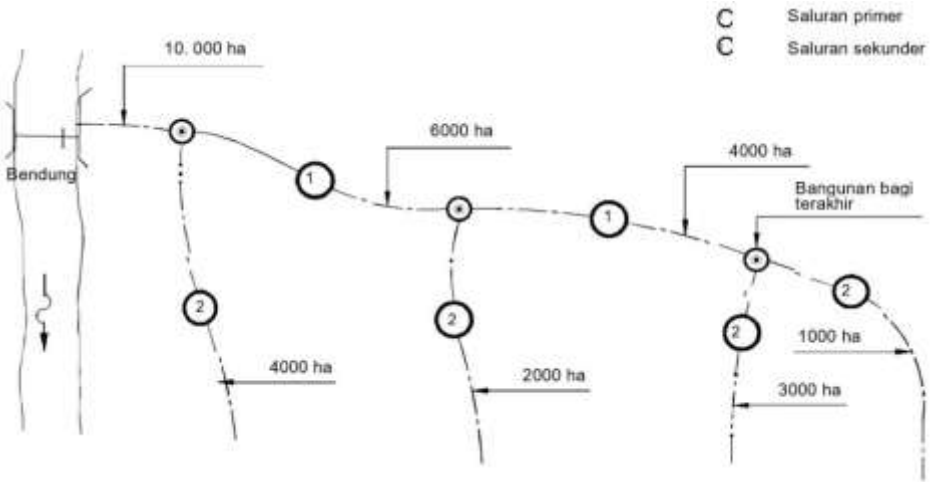
- Saluran primer membawa air dari bendung ke saluran sekunder dan ke petak-petak tersier yang diairi. Batas ujung saluran primer adalah pada bangunan bagi yang terakhir, lihat juga Gambar 2.1.
- Saluran sekunder membawa air dari saluran primer ke petak-petak tersier yang dilayani oleh saluran sekunder tersebut. Batas ujung saluran ini adalah pada bangunan sadap terakhir.
- Saluran pembawa membawa air irigasi dari sumber air lain (bukan sumber yang memberi air pada bangunan utama proyek) ke jaringan irigasi primer.
- Saluran muka tersier membawa air dari bangunan sadap tersier ke petak tersier yang terletak di seberang petak tersier lainnya. Saluran ini termasuk dalam wewenang dinas irigasi dan oleh sebab itu pemeliharaannya menjadi tanggung jawabnya.

2. Jaringan saluran irigasi tersier

- Saluran tersier membawa air dari bangunan sadap tersier di jaringan utama ke dalam petak tersier lalu ke saluran kuarter. Batas ujung saluran ini adalah boks bagi kuarter yang terakhir
- Saluran kuarter membawa air dari boks bagi kuarter melalui bangunan sadap tersier atau parit sawah ke sawah-sawah
- Perlu dilengkapi jalan petani di tingkat jaringan tersier dan kuarter sepanjang itu memang di-perlukan oleh petani setempat dan dengan per-setujuan petani setempat pula, karena banyak ditemukan di lapangan jalan petani yang rusak sehingga akses petani dari dan ke sawah menjadi terhambat, terutama untuk petak sawah yang paling ujung.

3 . Garis Sempadan Saluran

Dalam rangka pengamanan saluran dan bangunan maka perlu ditetapkan garis sempadan saluran dan bangunan irigasi yang jauhnya ditentukan dalam peraturan perundangan sempadan saluran.



Gambar 7.1. Saluran-Saluran Primer dan Sekunder

b . Saluran Pembuang

1. Jaringan saluran pembuang tersier
   - Saluran pembuang kuarter terletak di dalam satu petak tersier, menampung air langsung dari sawah dan membuang air tersebut ke dalam saluran pembuang tersier.
   - Saluran pembuang tersier terletak di dan antara petak-petak tersier yang termasuk dalam unit irigasi sekunder yang sama dan menampung air, baik dari pembuang kuarter maupun dari sawah- sawah. Air tersebut dibuang ke dalam jaringan pembuang sekunder.
2. Jaringan saluran pembuang utama
   - Saluran pembuang sekunder menampung air dari jaringan pembuang tersier dan membuang air tersebut ke pembuang primer atau langsung ke jaringan pembuang alamiah dan ke luar daerah irigasi.

- Saluran pembuang primer mengalirkan air lebih dari saluran pembuang sekunder ke luar daerah irigasi. Pembuang primer sering berupa saluran pembuang alamiah yang mengalirkan kelebihan air tersebut ke sungai, anak sungai atau ke laut.

7.3.3 Bangunan Bagi dan Sadap

Bangunan bagi dan sadap pada irigasi teknis dilengkapi dengan pintu dan alat pengukur debit untuk memenuhi kebutuhan air irigasi sesuai jumlah dan pada waktu tertentu. Namun dalam keadaan tertentu sering dijumpai kesulitan-kesulitan dalam operasi dan pemeliharaan sehingga muncul usulan sistem proporsional. Yaitu bangunan bagi dan sadap tanpa pintu dan alat ukur tetapi dengan syarat-syarat sebagai berikut:

1. Elevasi ambang ke semua arah harus sama
2. Bentuk ambang harus sama agar koefisien debit sama.
3. Lebar bukaan proporsional dengan luas sawah yang diairi.

Tetapi disadari bahwa sistem proporsional tidak bisa diterapkan dalam irigasi yang melayani lebih dari satu jenis tanaman dari penerapan sistem golongan. Untuk itu kriteria ini menetapkan agar diterapkan tetap memakai pintu dan alat ukur debit dengan memenuhi tiga syarat proporsional.

a. Bangunan bagi terletak di saluran primer dan sekunder pada suatu titik cabang dan berfungsi untuk membagi aliran antara dua saluran atau lebih.
b . Bangunan sadap tersier mengalirkan air dari saluran primer atau sekunder ke saluran tersier penerima.
c. Bangunan bagi dan sadap mungkin digabung menjadi satu rangkaian bangunan.
d. Boks-boks bagi di saluran tersier membagi aliran untuk dua saluran atau lebih (tersier, subtersier dan/atau kuarter).

7.3.4 Bangunan-bangunan Pengukur dan Pengatur

Aliran akan diukur di hulu (udik) saluran primer, di cabang saluran jaringan primer dan di bangunan sadap sekunder maupun tersier. Bangunan ukur dapat dibedakan menjadi

bangunan ukur aliran atas bebas (free overflow) dan bangunan ukur alirah bawah (underflow). Beberapa dari bangunan pengukur dapat juga dipakai untuk mengatur aliran air. Bangunan ukur yang dapat dipakai ditunjukkan pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Alat-alat ukur

Tipe	Mengukur dengan	Mengatur
Bangunan Ukur Ambang Lebar	Aliran Atas	Tidak
Bangunan Ukur Parshall	Aliran Atas	Tidak
Bangunan Ukur Cipoletti	Aliran Atas	Tidak
Bangunan Ukur Romijn	Aliran Atas	Ya
Bangunan Ukur Crump-de Gruyter	Aliran Bawah	Ya
Bangunan Sadap Pipa Sederhana	Aliran Bawah	Ya
Constant-Head Orifice (CHO)	Aliran Bawah	Ya
Cut Throat Flume	Aliran Atas	Tidak

Untuk menyederhanakan operasi dan pemeliharaan, bangunan ukur yang dipakai di sebuah jaringan irigasi hendaknya tidak terlalu banyak, dan diharapkan pula pemakaian alat ukur tersebut bisa benar-benar mengatasi permasalahan yang dihadapi para petani. KP-04 Bangunan memberikan uraian terinci mengenai peralatan ukur dan penggunaannya. Peralatan berikut dianjurkan pemakaiannya:

- Di hulu saluran primer

  Untuk aliran besar alat ukur ambang lebar dipakai untuk pengukuran dan pintu sorong atau radial untuk pengatur.
- Di bangunan bagi bangunan sadap sekunder

  Pintu Romijn dan pintu Crump-de Gruyter dipakai untuk mengukur dan mengatur aliran. Bila debit terlalu besar, maka alat ukur ambang lebar dengan pintu sorong atau radial bisa dipakai seperti untuk saluran primer.
- Bangunan sadap tersier

  Untuk mengatur dan mengukur aliran dipakai alat ukur Romijn atau jika fluktuasi di saluran besar dapat dipakai alat

ukur Crump-de Gruyter. Di petak-petak tersier kecil di sepanjang saluran primer dengan tinggi muka air yang bervariasi dapat dipertimbangkan untuk memakai bangunan sadap pipa sederhana, di lokasi yang petani tidak bisa menerima bentuk ambang sebaiknya dipasang alat ukur parshall atau cut throat flume. Alat ukur parshall memerlukan ruangan yang panjang, presisi yang tinggi dan sulit pembacaannya, alat ukur cut throat flume lebih pendek dan mudah pembacaannya.

7.3.5 Bangunan Pengatur Muka Air

Bangunan-bangunan pengatur muka air mengatur atau mengontrol muka air di jaringan irigasi utama sampai batas-batas yang diperlukan untuk dapat memberikan debit yang konstan kepada bangunan sadap tersier. Bangunan pengatur mempunyai potongan pengontrol aliran yang dapat distel atau tetap. Untuk bangunan-bangunan pengatur yang dapat disetel dianjurkan untuk menggunakan pintu (sorong) radial atau lainnya. Bangunan-bangunan pengatur diperlukan di tempat-tempat di mana tinggi muka air di saluran dipengaruhi oleh bangunan terjun atau got miring (chute). Untuk mencegah meninggi atau menurunnya muka air di saluran dipakai mercu tetap atau celah kontrol trapesium (trapezoidal notch).

7.3.6 Bangunan Pembawa

Bangunan-bangunan pembawa membawa air dari ruas hulu ke ruas hilir saluran. Aliran yang melalui bangunan ini bisa superkritis atau subkritis.

a. Bangunan pembawa dengan aliran superkritis

   Bangunan pembawa dengan aliran tempat di mana lereng medannya maksimum saluran. Superkritis diperlukan di tempat lebih curam daripada kemiringan maksimal saluran. (Jika di tempat dimana kemiringan medannya lebih curam daripada kemiringan dasar saluran, maka bisa terjadi aliran superkritis yang akan dapat merusak saluran. Untuk itu diperlukan bangunan peredam).

- Bangunan terjun

  Dengan bangunan terjun, menurunnya muka air (dan tinggi energi) dipusatkan di satu tempat Bangunan terjun bisa memiliki terjun tegak atau terjun miring. Jika perbedaan tinggi energi mencapai beberapa meter, maka konstruksi got miring perlu dipertimbangkan.

- Got miring

  Daerah got miring dibuat apabila trase saluran melewati ruas medan dengan kemiringan yang tajam dengan jumlah perbedaan tinggi energi yang besar. Got miring berupa potongan saluran yang diberi pasangan (lining) dengan aliran superkritis, dan umurnnya mengikuti kemiringan medan alamiah.

b . Bangunan pembawa dengan aliran subkritis (bangunan silang)

- Gorong-gorong

  Gorong-gorong dipasang di tempat-tempat di mana saluran lewat di bawah bangunan (jalan, rel kereta api) atau apabila pembuang lewat di bawah saluran. Aliran di dalam gorong-gorong umumnya aliran bebas.

- Talang

  Talang dipakai untuk mengalirkan air irigasi lewat di atas saluran lainnya, saluran pembuang alamiah atau cekungan dan lembah-lembah. Aliran di dalam talang adalah aliran bebas.

- Sipon

  Sipon dipakai untuk mengalirkan air irigasi dengan menggunakan gravitasi di bawah saluran pembuang, cekungan, anak sungai atau sungai. Sipon juga dipakai untuk melewatkan air di bawah jalan, jalan kereta api, atau bangunan-bangunan yang lain. Sipon merupakan saluran tertutup yang direncanakan untuk mengalirkan air secara penuh dan sangat dipengaruhi oleh tinggi tekan.

- Jembatan sipon

  Jembatan sipon adalah saluran tertutup yang bekerja atas dasar tinggi tekan dan dipakai untuk mengurangi ketinggian bangunan pendukung di atas lembah yang dalam.

- Flum (*Flume*)

  Ada beberapa tipe flum yang dipakai untuk mengalirkan air irigasi melalui situasi-situasi medan tertentu, misalnya:

  · flum tumpu (bench flume), untuk mengalirkan air di sepanjang lereng bukit yang curam

  · flum elevasi (elevated flume), untuk menyeberangkan air irigasi lewat di atas saluran pembuang atau jalan air lainnya

  · flum, dipakai apabila batas pembebasan tanah (right of way) terbatas atau jika bahan tanah tidak cocok untuk membuat potongan melintang saluran trapesium biasa.

Flum mempunyai potongan melintang berbentuk segi empat atau setengah bulat. Aliran dalam flum adalah aliran bebas.

- Saluran tertutup

  Saluran tertutup dibuat apabila trase saluran terbuka melewati suatu daerah di mana potongan melintang harus dibuat pada galian yang dalam dengan lereng-lereng tinggi yang tidak stabil. Saluran tertutup juga dibangun di daerah-daerah permukiman dan di daerah-daerah pinggiran sungai yang terkena luapan banjir. Bentuk potongan melintang saluran tertutup atau saluran gali dan timbun adalah segi empat atau bulat. Biasanya aliran di dalam saluran tertutup adalah aliran bebas.

- Terowongan

  Terowongan dibangun apabila keadaan ekonomi/anggaran memungkinkan untuk saluran tertutup guna mengalirkan air melewati bukit-bukit dan medan yang tinggi. Biasanya aliran di dalam terowongan adalah aliran bebas.

7.3.7 Bangunan Lindung

Diperlukan untuk melindungi saluran baik dari dalam maupun dari luar. Dari luar bangunan itu memberikan perlindungan terhadap limpasan air buangan yang berlebihan dan dari dalam terhadap aliran saluran yang berlebihan akibat kesalahan eksploitasi atau akibat masuknya air dan luar saluran.

a. Bangunan Pembuang Silang

Gorong-gorong adalah bangunan pembuang silang yang pal-ing umum digunakan sebagai lindungan-luar; lihat juga pasal mengenai bangunan pembawa. Sipon dipakai jika saluran irigasi kecil melintas saluran pembuang yang besar. Dalam hal ini, biasanya lebih aman dan ekonomis untuk membawa air irigasi dengan sipon lewat di bawah saluran pembuang tersebut. Overchute akan direncana jika elevasi dasar saluran pembuang di sebelah hulu saluran irigasi lebih besar daripada permukaan air normal di saluran.

b . Pelimpah (*Spillway*)

Ada tiga tipe lindungan-dalam yang umum dipakai, yaitu saluran pelimpah, sipon pelimpah dan pintu pelimpah otomatis. Pengatur pelimpah diperlukan tepat di hulu bangunan bagi, di ujung hilir saluran primer atau sekunder dan di tempat-tempat lain yang dianggap perlu demi keamanan jaringan. Bangunan pelimpah bekerja otomatis dengan naiknya muka air.

c. Bangunan Penggelontor Sedimen (*Sediment Excluder*)

Bangunan ini dimaksudkan untuk mengeluarkan endapan sedimen sepanjang saluran primer dan sekunder pada lokasi persilangan dengan sungai. Pada ruas saluran ini sedimen diijinkan mengendap dan dikuras melewati pintu secara periodik.

d. Bangunan Penguras (*Wasteway*).

Bangunan penguras, biasanya dengan pintu yang dioperasikan dengan tangan, dipakai untuk mengosongkan seluruh ruas saluran bila diperlukan. Untuk mengurangi tingginya biaya, bangunan ini dapat digabung dengan bangunan pelimpah.

e. Saluran Pembuang Samping

Aliran buangan biasanya ditampung di saluran pembuang terbuka yang mengalir pararel di sebelah atas saluran irigasi. Saluran-saluran ini membawa air ke bangunan pembuang silang atau, jika debit relatif kecil dibanding aliran air irigasi, ke dalam saluran irigasi itu melalui lubang pembuang.

f. Saluran Gendong

Saluran gendong adalah saluran drainase yang sejajar dengan saluran irigasi, berfungsi mencegah aliran permukaan (*run off*) dari luar areal irigasi yang masuk ke dalam saluran irigasi. Air yang masuk saluran gendong dialirkan keluar ke saluran alam atau drainase yang terdekat.

7.3.8 Jalan dan Jembatan

Jalan-jalan inspeksi diperlukan untuk inspeksi, eksploitasi dan pemeliharaan jaringan irigasi dan pembuang oleh Dinas Pengairan. Masyarakat boleh menggunakan jalan-jalan inspeksi ini untuk keperluan-keperluan tertentu saja. Apabila saluran dibangun sejajar dengan jalan umum didekatnya, maka tidak diperlukan jalan inspeksi di sepanjang ruas saluran tersebut. Biasanya jalan inspeksi terletak di sepanjang sisi saluran irigasi. Jembatan dibangun untuk saling menghubungkan jalan-jalan inspeksi di seberang saluran irigasi/pembuang atau untuk menghubungkan jalan inspeksi dengan jalan umum. Perlu dilengkapi jalan petani ditingkat jaringan tersier dan kuarter sepanjang itu memang diperlukan oleh petani setempat dan dengan persetujuan petani setempat pula, karena banyak ditemukan di lapangan jalan petani yang rusak atau tidak ada sama sekali sehingga akses petani dari dan ke sawah menjadi terhambat, terutama untuk petak sawah yang paling ujung.

7.3.9 Bangunan Pelengkap

Tanggul-tanggul diperlukan untuk melindungi daerah irigasi terhadap banjir yang berasal dari sungai atau saluran pembuang yang besar. Pada umumnya tanggul diperlukan di sepanjang sungai di sebelah hulu bendung atau di sepanjang saluran primer.

Fasilitas-fasilitas operasional diperlukan untuk operasi jaringan irigasi secara efektif dan aman. Fasilitas-fasilitas tersebut antara lain meliputi antara lain: kantor-kantor di lapangan, bengkel, perumahan untuk staf irigasi, jaringan komunikasi, patok hektometer, papan eksploitasi, papan duga, dan sebagainya.

Bangunan-bangunan pelengkap yang dibuat di dan sepanjang saluran meliputi:

- Pagar, rel pengaman dan sebagainya, guna memberikan pengaman sewaktu terjadi keadaan-keadaan gawat;
- Tempat-tempat cuci, tempat mandi ternak dan sebagainya, untuk memberikan sarana untuk mencapai air di saluran tanpa merusak lereng;
- Kisi-kisi penyaring untuk mencegah tersumbatnya bangunan (sipon dan gorong-gorong panjang) oleh benda-benda yang hanyut;
- Jembatan-jembatan untuk keperluan penyeberangan bagi penduduk.
- Sanggar tani sebagai sarana untuk interaksi antar petani, dan antara petani dan petugas irigasi dalam rangka memudahkan penyelesaian permasalahan yang terjadi di lapangan. Pembangunannya disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi petani setempat serta letaknya di setiap bangunan sadap/offtake.

7.4 Standar Tata Nama

Nama-nama yang diberikan untuk saluran-saluran irigasi dan pembuang, bangunan-bangunan dan daerah irigasi harus jelas dan logis. Nama yang diberikan harus pendek dan tidak mempunyai tafsiran ganda (ambigu). Nama-nama harus dipilih dan dibuat sedemikian sehingga jika dibuat bangunan baru kita tidak perlu mengubah semua nama yang sudah ada.

7.4.1 Daerah Irigasi

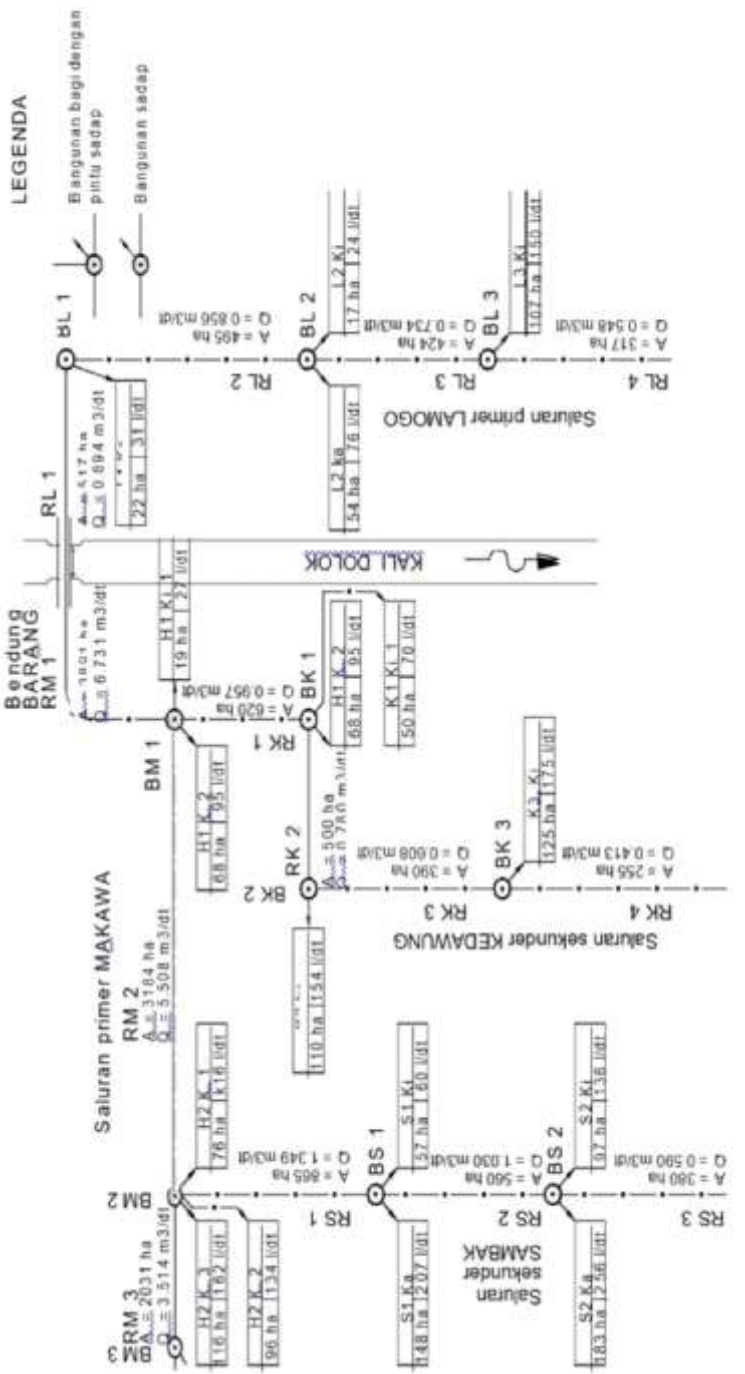
Daerah irigasi dapat diberi nama sesuai dengan nama daerah setempat, atau desa penting di daerah itu, yang biasanya terletak dekat dengan jaringan bangunan utama atau sungai yang airnya

diambil untuk keperluan irigasi. Contohnya adalah Daerah Irigasi Jatiluhur atau Dl. Cikoncang Apabila ada dua pengambilan atau lebih, maka daerah irigasi tersebut sebaiknya diberi nama sesuai dengan desa-desa terkenal di daerah-daerah layanan setempat untuk pemberian nama-nama bangunan utama berlaku peraturan yang sama seperti untuk daerah irigasi, misalnya bendung elak Cikoncang melayani D.I Cikoncang.

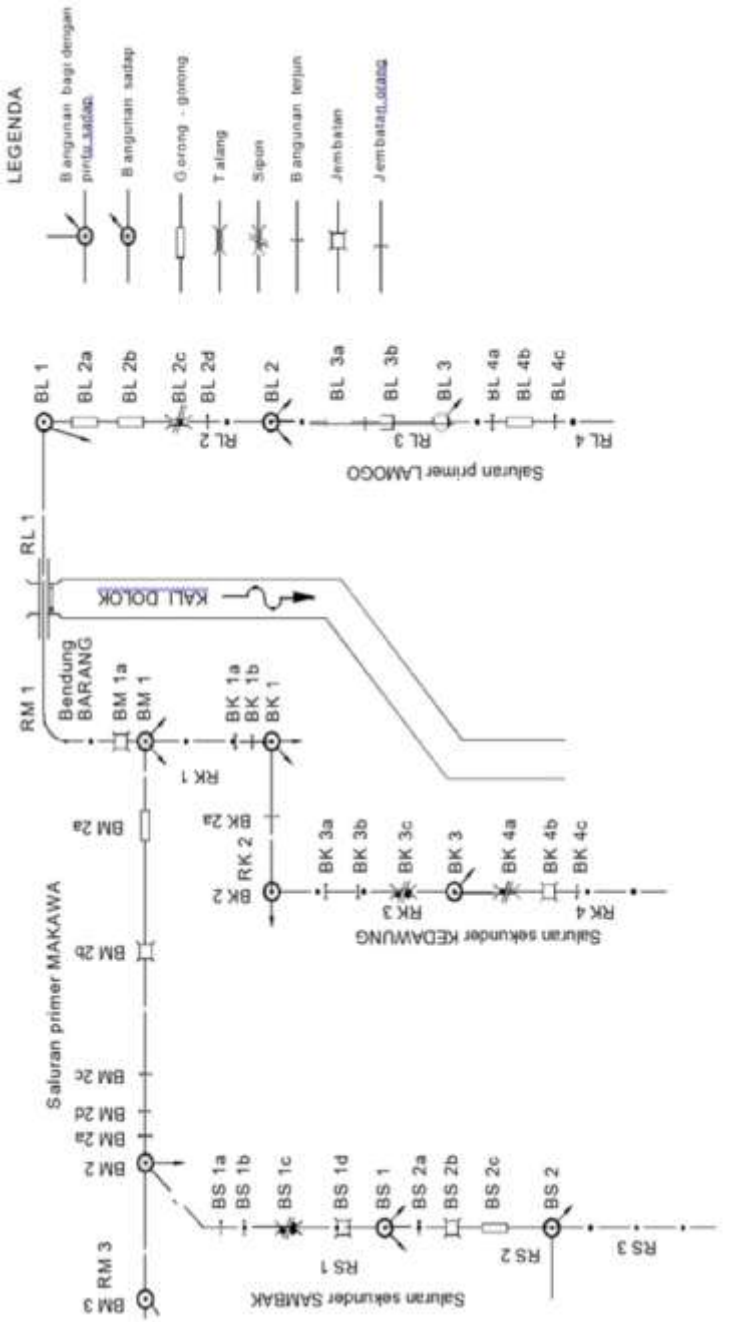
Sebagai contoh, lihat Gambar 2.2. Bendung Barang merupakan salah satu dari bangunan-bangunan utama di sungai Dolok. Bangunan-bangunan tersebut melayani daerah Makawa dan Lamogo, keduanya diberi nama sesuai dengan nama-nama desa utama di daerah itu.

7.4.2 Jaringan Irigasi Primer

Saluran irigasi primer sebaiknya diberi nama sesuai dengan daerah irigasi yang dilayani, contoh: saluran primer Makawa. Saluran sekunder sering diberi nama sesuai dengan nama desa yang terletak di petak sekunder. Petak sekunder akan diberi nama sesuai dengan nama saluran sekundernya. Sebagai contoh saluran sekunder Sambak mengambil nama desa Sambak yang terletak di petak sekunder Sambak.



Gambar 7.2 Standar Sistem Tata Nama Untuk Skema Irigasi



Gambar 7.3 Standar Sistem Tata Nama Untuk Bangunan-Bangunan Irigasi

Saluran dibagi menjadi ruas-ruas yang berkapasitas sama. Misalnya, RS 2 adalah Ruas saluran sekunder Sambak (S) antara bangunan sadap BS 1 dan BS 2 (lihat juga Bab 2.2 dan 2.3). Bangunan pengelak atau bagi adalah bangunan terakhir di suatu ruas. Bangunan itu diberi nama sesuai dengan ruas hulu tetapi huruf R (Ruas) diubah menjadi B (Bangunan). Misalnya BS 2 adalah bangunan pengelak di ujung ruas RS 2. Bangunan-bangunan yang ada di antara bangunan-bangunan bagi sadap (gorong-gorong, jembatan, talang bangunan terjun, dan sebagainya) diberi nama sesuai dengan nama ruas di mana bangunan tersebut terletak juga mulai dengan huruf B (Bangunan) lalu diikuti dengan huruf kecil sedemikian sehingga bangunan yang terletak di ujung hilir mulai dengan “a” dan bangunan-bangunan yang berada lebih jauh di hilir memakai hurut b, c, dan seterusnya. Sebagai contoh BS2b adalah bangunan kedua pada ruas RS2 di saluran Sambak terletak antara bangunan-bangunan bagi BS 1 dan BS 2.

Bagian KP–07 Standar Penggambaran dan BI–01 Tipe Bangunan irigasi memberikan uraian lebih rinci mengenai sistem tata nama.

7.4.3 Jaringan Irigasi Tersier

Petak tersier diberi nama seperti bangunan sadap tersier dari jaringan utama. Misalnya petak tersier S1 ki mendapat air dari pintu kiri bangunan bagi BS 1 yang terletak di saluran Sambak.

1. Ruas-ruas saluran tersier diberi nama sesuai dengan nama boks yang terletak di antara kedua boks. misalnya (T1 - T2), (T3 - K1), (lihat Gambar 24).
2. Boks Tersier diberi kode T, diikuti dengan nomor urut menurut arah jarum jam, mulai dari boks pertama di hilir bangunan sadap tersier: T1, T2 dan sebagainya
3. Petak kuarter diberi nama sesuai dengan petak rotasi, diikuti dengan nomor urut menurut arah jarum jam. Petak rotasi diberi kode A, B, C dan seterusnya menurut arah jarum jam.
4. Boks kuarter diberi kode K, diikuti dengan nomor urut menurut arah jarum jam, mulai dari boks kuarter pertama

di hilir boks tersier dengan nomor urut tertinggi: K1, K2 dan seterusnya.

5. Saluran irigasi kuarter diberi nama sesuai dengan petak kuarter yang dilayani tetapi dengan huruf kecil, misalnya a1,a2 dan seterusnya.
6. Saluran pembuang kuarter diberi nama sesuai dengan petak kuarter yang dibuang airnya, menggunakan huruf kecil diawali dengan dk, misalnya dka1, dka2 dan seterusnya.
7. Saluran pembuang tersier, diberi kode dt1, dt2 juga menurut arah jarum jam.

7.4.4 Jaringan Pembuang

Setiap pembangunan jaringan irigasi dilengkapi dengan pembangunan jaringan drainase yang merupakan satu kesatuan dengan jaringan irigasi yang bersangkutan (PP 20 pasal 46 ayat I). Pada umumnya pembuang primer berupa sungai-sungai alamiah, yang kesemuanya akan diberi nama. Apabila ada saluran-saluran pembuang primer baru yang akan dibuat, maka saluran-saluran itu harus diberi nama tersendiri. Jika saluran pembuang dibagi menjadi ruas-ruas, maka masing- masing ruas akan diberi nama, mulai dari ujung hilir.

Pembuang sekunder pada umumnya berupa sungai atau anak sungai yang lebih kecil. Beberapa di antaranya sudah mempunyai nama yang tetap bisa dipakai, jika tidak sungai/anak sungai tersebut akan ditunjukkan dengan sebuah huruf bersama-sama dengan nomor seri nama-nama ini akan diawali dengan huruf d (d = drainase). Pembuang tersier adalah pembuang kategori terkecil dan akan dibagi-bagi menjadi ruas-ruas dengan debit seragam, masing-masing diberi nomor. Masing-masing petak tersier akan mempunyai nomor seri sendiri-sendiri.

7.4.5 Tata Warna Peta

Warna-warna standar akan digunakan untuk menunjukkan berbagai tampakan irigasi pada peta. Warna-warna yang dipakai adalah:

- Biru untuk jaringan irigasi, garis penuh untuk jaringan pembawa yang ada dan garis putus-putus untuk jaringan yang sedang direncanakan
- Merah untuk sungai dan jaringan pembuang garis penuh untuk jaringan yang sudah ada dan garis putus-putus (----- - ----- - -----) untuk jaringan yang sedang direncanakan;
- Coklat untuk jaringan jalan;
- Kuning untuk daerah yang tidak diairi (dataran tinggi, rawa-rawa);
- Hijau untuk perbatasan kabupaten, kecamatan desa dan kampung;
- Merah untuk tata nama bangunan;
- Hitam untuk jalan kereta api;
- Warna bayangan akan dipakai untuk batas-batas petak sekunder, batas-batas petak tersier akan diarsir dengan warna yang lebih muda dari warna yang sama (untuk petak sekunder) semua petak tersier yang diberi air langsung dari saluran primer akan mempunyai warna yang sama.

7.5 Definisi mengenai Irigasi

a. Daerah Studi adalah Daerah Proyek ditambah dengan seluruh daerah aliran sungai (DAS) dan tempat-tempat pengambilan air ditambah dengan daerah-daerah lain yang ada hubungannya dengan daerah studi

b . Daerah Proyek adalah daerah di mana pelaksanaan pekerjaan dipertimbangkan dan/atau diusulkan dan daerah tersebut akan mengambil manfaat langsung dari proyek tersebut.

c. Daerah Irigasi Total/brutto adalah, daerah proyek dikurangi dengan perkampungan dan tanah-tanah yang dipakai untuk mendirikan bangunan daerah yang tidak diairi, jalan utama, rawa-rawa dan daerah-daerah yang tidak akan dikembangkan untuk irigasi di bawah proyek yang bersangkutan.

d. Daerah Irigasi Netto/Bersih adalah tanah yang ditanami (padi) dan ini adalah daerah total yang bisa diairi dikurangi

dengan saluran-saluran irigasi dan pembuang primer, sekunder, tersier dan kuarter, jalan inspeksi, jalan setapak dan tanggul sawah. Daerah ini dijadikan dasar perhitungan kebutuhan air, panenan dan manfaat/ keuntungan yang dapat diperoleh dari proyek yang bersangkutan. Sebagai angka standar luas netto daerah yang dapat diairi diambil 0,9 kali luas total daerah-daerah yang dapat diairi.

e. Daerah Potensial adalah daerah yang mempunyai kemungkinan baik untuk dikembangkan. Luas daerah ini sama dengan Daerah lrigasi Netto tetapi biasanya belum sepenuhnya dikembangkan akibat terdapatnya hambatan-hambatan nonteknis.

f. Daerah Fungsional adalah bagian dari Daerah Potensial yang telah memiliki jaringan irigasi yang telah dikembangkan. Daerah fungsional .luasnya sama atau lebih kecil dari Daerah Potensial.

PENAHAPAN PERENCANAAN IRIGASI

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

- Memahami Perencanaan Irigasi
- Menjelaskan Tahapan Perencanaan Irigasi

8.1 Pendahuluan

Proses pembangunan irigasi dilakukan secara berurutan berdasarkan akronim SIDLACOM untuk mengidentifikasi berbagai tahapan proyek. Akronim tersebut merupakan kependekan dari:

S – *Survey* (Pengukuran/Survei) I

– *Investigation* (Penyelidikan) D –

Design (Perencanaan Teknis)

La – *Land acquisition* (Pembebasan Tanah)

C – *Construction* (Pelaksanaan)

O – *Operation* (Operasi)

M – *Maintenance* (Pemeliharaan)

Akronim tersebut menunjukkan urut-urutan tahap yang masing-masing terdiri dari kegiatan-kegiatan yang berlainan. Tahap yang berbeda-beda tersebut tidak perlu merupakan

rangkaian kegiatan yang terus menerus mungkin saja ada jarak waktu di antara tahap-tahap tersebut.

Perencanaan pembangunan irigasi dibagi menjadi dua tahap utama yaitu Tahap Perencanaan Umum (studi) dan Tahap Perencanaan Teknis (seperti tercantum dalam Tabel 3.1). Tabel 3.1 menyajikan rincian S-I-D menjadi dua tahap. Tahap Studi dan Tahap Perencanaan Teknis. Masing-masing tahap (phase) dibagi menjadi taraf (phase), yang kesemuanya mempunyai tujuan yang jelas.

Tahap Studi merupakan tahap perumusan proyek dan penyimpulan akan dilaksanakannya suatu proyek. Aspek-aspek yang tercakup dalam Tahap Studi bersifat teknis dan nonteknis. Tahap Perencanaan merupakan tahap pembahasan proyek pekerjaan irigasi secara mendetail aspek-aspek yang tercakup di sini terutama bersifat teknis. Dalam pasal 3.2 dan 3.3 Tahap Studi dan Tahap Perencanaan dibicarakan secara lebih terinci.

Pada Tabel 8.1 diberikan ciri-ciri utama masing-masing taraf persiapan proyek irigasi. Suatu proyek meliputi seluruh atau sebagian saja dari taraf-taraf ini bergantung kepada investasi/ modal yang tersedia dan kemauan atau keinginan masyarakat serta pengalaman mengenai pertanian irigasi di daerah yang bersangkutan. Lagi pula batas antara masing-masing tahap bisa berubah-ubah:

- Seluruh taraf pengenalan bisa meliputi inventarisasi dan identifikasi proyek; sedangkan kegiatan-kegiatan dalam studi pengenalan (reconnaissance study) detail mungkin bersamaan waktu dengan kegiatan-kegiatan yang termasuk dalam ruang lingkup studi prakelayakan;
- Studi kelayakan detail akan meliputi juga perencanaan pekerjaan irigasi pendahuluan.

Sesuai dengan Undang-undang Sumber Daya Air bahwa dalam wilayah sungai akan dibuat Pola Pengembangan dan Rencana Induk wilayah sungai, terkait dengan hal tersebut pada kondisi wilayah sungai yang belum ada Pola Pengembangan dan Rencana Induk, tetapi sudah perlu pengembangan irigasi, maka

pada tahap studi awal dan studi identifikasi hasilnya sebagai masukan untuk pembuatan pola pengembangan wilayah sungai. Namun jika pola pengembangan wilayah sungai sudah ada, maka tahap studi awal dan studi identifikasi tidak diperlukan lagi. Rencana induk (master plan) pengembangan sumber daya air di suatu daerah (wilayah sungai, unit-unit administratif) di mana irigasi pertanian merupakan bagian utamanya, dapat dibuat pada tahapan studi yang mana saja sesuai ketersedian dana. Akan tetapi biasanya rencana induk dibuat sebagai bagian (dan sebagai hasil) dari studi pengenalan.

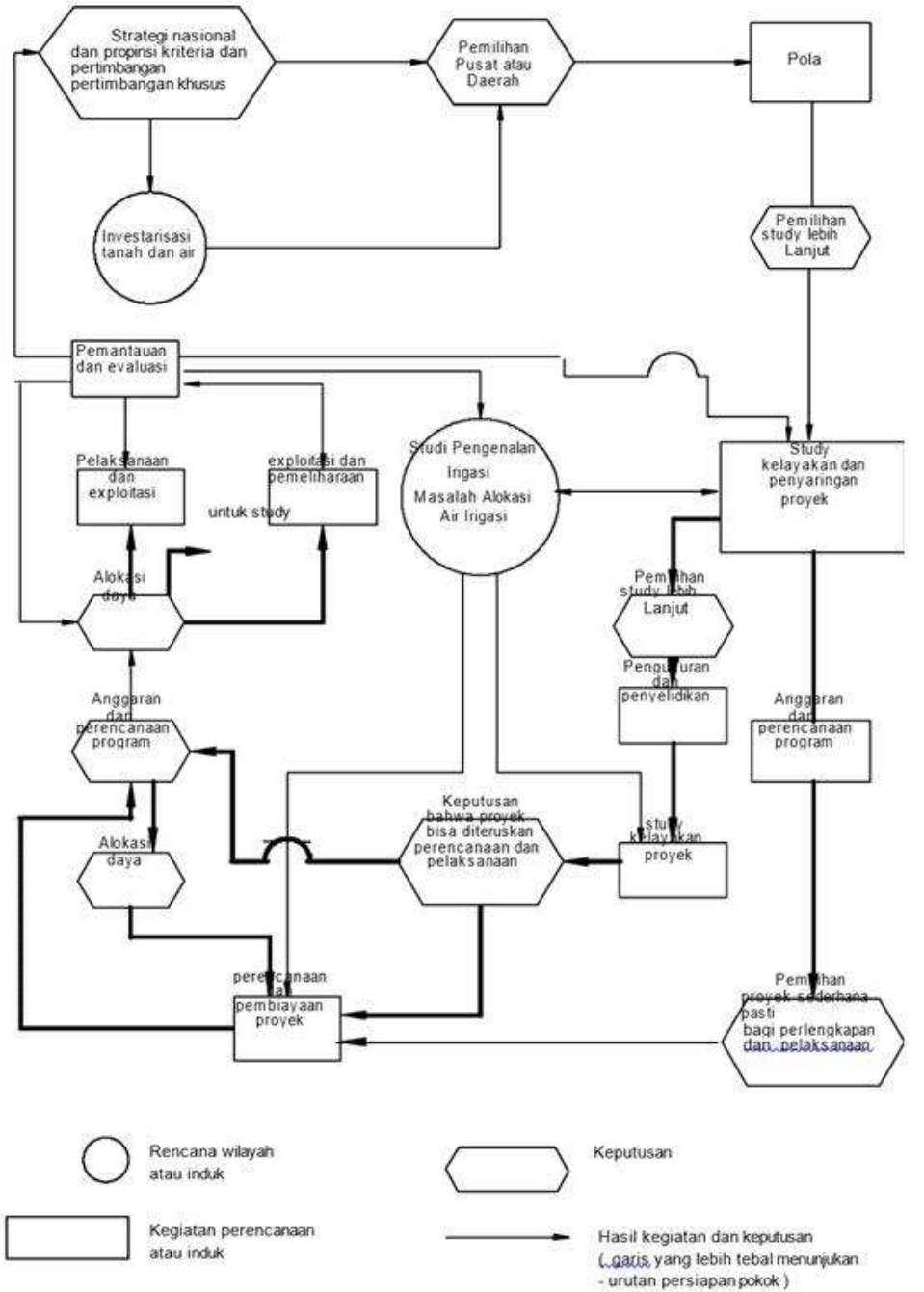
Pada Gambar 8.1 diberikan ilustrasi mengenai, hubungan timbal balik antara berbagai taraf termasuk pembuatan Rencana Induk.

Tabel 8.1 Penahapan Proyek

TAHAP/TARAF	CIRI-CIRI UTAMA
TAHAP STUDI (Studi Awal)	Pemikiran untuk pengembangan irigasi pertanian dan perkiraan luas daerah irigasi dirumuskan di kantor berdasarkan potensi pengembangan sungai, usulan daerah dan masyarakat.
STUDI IDENTIFIKASI (Pola)	- Identifikasi proyek dengan menentukan nama dan - Luas; garis besar skema irigasi alternatif; pemberitahuan kepada instansi-instansi pemerintah yang berwenang serta pihak-pihak lain yang akan dilibatkan dalam proyek tersebut serta konsultasi publik masyarakat. - Pekerjaan-pekerjaan teknik, dan perencanaan pertanian, dilakukan dikantor dan di lapangan.

TAHAP/TARAF	CIRI-CIRI UTAMA
STUDI PENGENALAN /STUDI PRAKELAYAKAN (Masterplan)	- Kelayakan teknis dari proyek yang sedang dipelajari. - Komponen dan aspek multisector dirumuskan, dengan menyesuaikan terhadap rencana umum tata ruang wilayah. - Neraca Air (Supply-demand) yang didasarkan pada Masterplan Wilayah Sungai. - Perijinan alokasi pemakaian air (sesuai PP 20 tahun 2006 tentang irigasi pasal 32) - Penjelasan mengenai aspek-aspek yang belum dapat dipecahkan selama identifikasi. - Penentuan ruang lingkup studi yang akan dilakukan lebih lanjut. - Pekerjaan lapangan dan kantor oleh tim yang terdiri atas orang-orang dari berbagai disiplin ilmu. - Perbandingan proyek-proyek alternatif dilihat dari segi perkiraan biaya dan keuntungan yang dapat diperoleh. - Pemilihan alternatif untuk dipelajari lebih lanjut. - Penentuan pengukuran dan penyelidikan yang diperlukan. - Diusulkan perijinan alokasi air irigasi.

TAHAP/TARAF	CIRI-CIRI UTAMA
STUDI KELAYAKAN	- Analisa dari segi teknis dan ekonomis untuk proyek yang sedang dirumuskan - Menentukan batasan/definisi proyek dan sekaligus menetapkan prasarana yang diperlukan - Mengajukan program pelaksanaan - Ketepatan yang disyaratkan untuk aspek-aspek teknik serupa dengan tingkat ketepatan yang disyaratkan untuk perencanaan pendahuluan. - Studi Kelayakan membutuhkan pengukuran topografi, geoteknik dan kualitas tanah secara ekstensif, sebagaimana untuk perencanaan pendahuluan
TAHAP PERENCANAAN	
PERENCANAAN PENDAHULUAN	- Foto udara (kalau ada), pengukuran pada topografi, penelitian kecocokan tanah. - Tata letak dan perencanaan pendahuluan bangunan utama, saluran dan bangunan, perhitungan neraca air (water balance). Kegiatan kantor dengan pengecekan lapangan secara ekstensif - Pemutakhiran perijinan alokasi air irigasi - Pengusulan garis sempadan saluran
PERENCANAAN DETAIL AKHIR	- Pengukuran trase saluran dan penyelidikan detail geologi teknik - Pemutakhiran ijin alokasi air irigasi - Pemutakhiran garis sempadan saluran



Gambar 8.1 Hubungan Timbal Balik Antara Berbagai Taraf Termasuk Pembuatan Rencana Induk

Uraian lain mengenai teknik dan kriteria yang memberikan panduan dalam Tahap Studi, diberikan dalam pedoman perencanaan dari Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Bina Program dan buku-buku petunjuk perencanaan. Buku-buku Standar Perencanaan lrigasi memberikan petunjuk dan kriteria untuk melaksanakan studi dan membuat perencanaan pendahuluan dan perekayasaan detail baik Tahap Studi maupun Tahap Perencanaan Teknis akan dibicarakan dalam pasal-pasal berikut ini, agar para ahli irigasi menjadi terbiasa dengan latar belakang dan ruang lingkup pekerjaan ini, serta memberikan panduan yang jelas guna mencapai ketelitian yang disyaratkan.

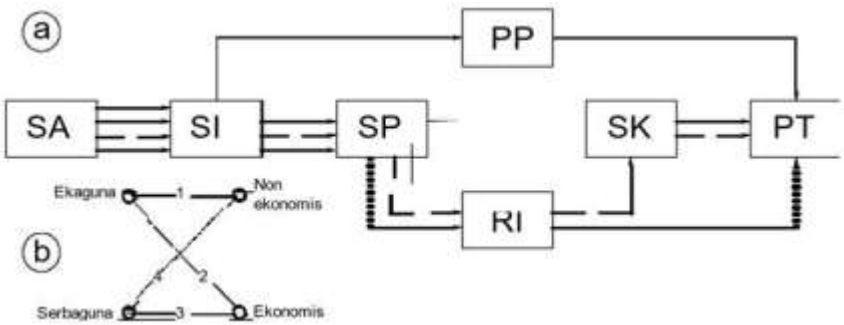
Instansi-instansi yang terkait dimana data-data dapat diperoleh data-data dapat diperoleh dari instansi-instansi berikut

- BAKOSURTANAL: untuk peta-peta topografi umum dan foto-foto udara.
- Direktorat Geologi: untuk peta-peta topografi dan peta-peta geologi.
- Badan Meteorologi dan Geofisika: untuk data-data meteorologi dan peta-peta topografi.
- Puslitbang Sumber Daya Air, Seksi Hidrometri: untuk catatan-catatan aliran sungai dan sedimen, data meteorologi dan peta-peta topografi.
- DPUP: untuk peta-peta topografi, catatan mengenai aliran sungai, pengelolaan air dan catatan-catatan meteorologi, data-data jalan dan jembatan, jalan air.
- Dinas Tata Ruang Daerah: informasi mengenai tata ruang.
- PLN, Bagian Tenaga Air: untuk peta daerah aliran dan data-data aliran air.
- Puslit Tanah: Peta Tata Guna Lahan
- Departemen Pertanian: untuk catatan-catatan mengenai agrometeorologi serta produksi pertanian.
- Balai Konservasi lahan dan hutan: informasi lahan kritis
- Biro Pusat Statistik (BPS): untuk keterangan-keterangan statistik, kementerian dalam negeri, agraria, untuk memperoleh data-data administratif dan tata guna tanah.

- Balai Wilayah Sungai: informasi kebutuhan air multisektor.
- Bappeda: untuk data perencanaan dan pembangunan wilayah.
- Kantor proyek (kalau ada)

8.2 Tahap Studi

Dalam tahap studi, konsep proyek dibuat dan dirinci mengenai irigasi pertanian ini pada prinsipnya akan didasarkan pada faktor-faktor tanah, air dan penduduk, namun juga akan dipelajari berdasarkan aspek-aspek lain. Aspek-aspek ini antara lain meliputi ekonomi rencana nasional dan regional, sosiologi dan ekologi. Berbagai studi dan penyelidikan akan dilakukan. Banyaknya aspek yang akan dicakup dan mendalamnya penyelidikan yang diperlukan akan berbeda-beda dari proyek yang satu dengan proyek yang lain. Pada Gambar 3.2 ditunjukkan urut-urutan kegiatan suatu proyek.



Gambar 8.2. Urut-urutan Kegiatan proyek

Dengan:

SA : Studi awal

S I : Studi identifikasi

SP : Studi pengenalan

S K : Studi kelayakan

PP : Perencanaan pendahuluan

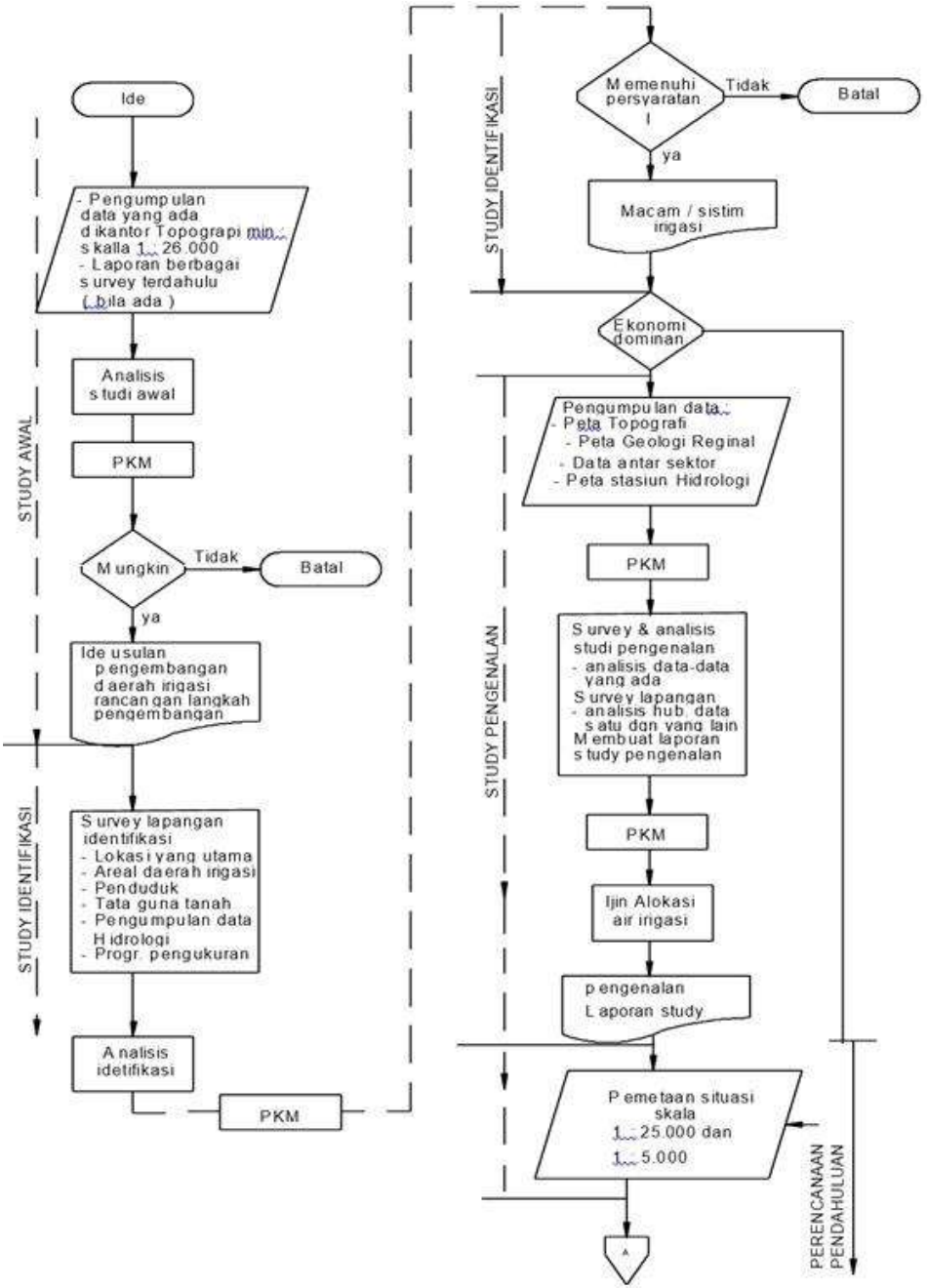
PD : Perencanaan detail

RI : Rencana induk

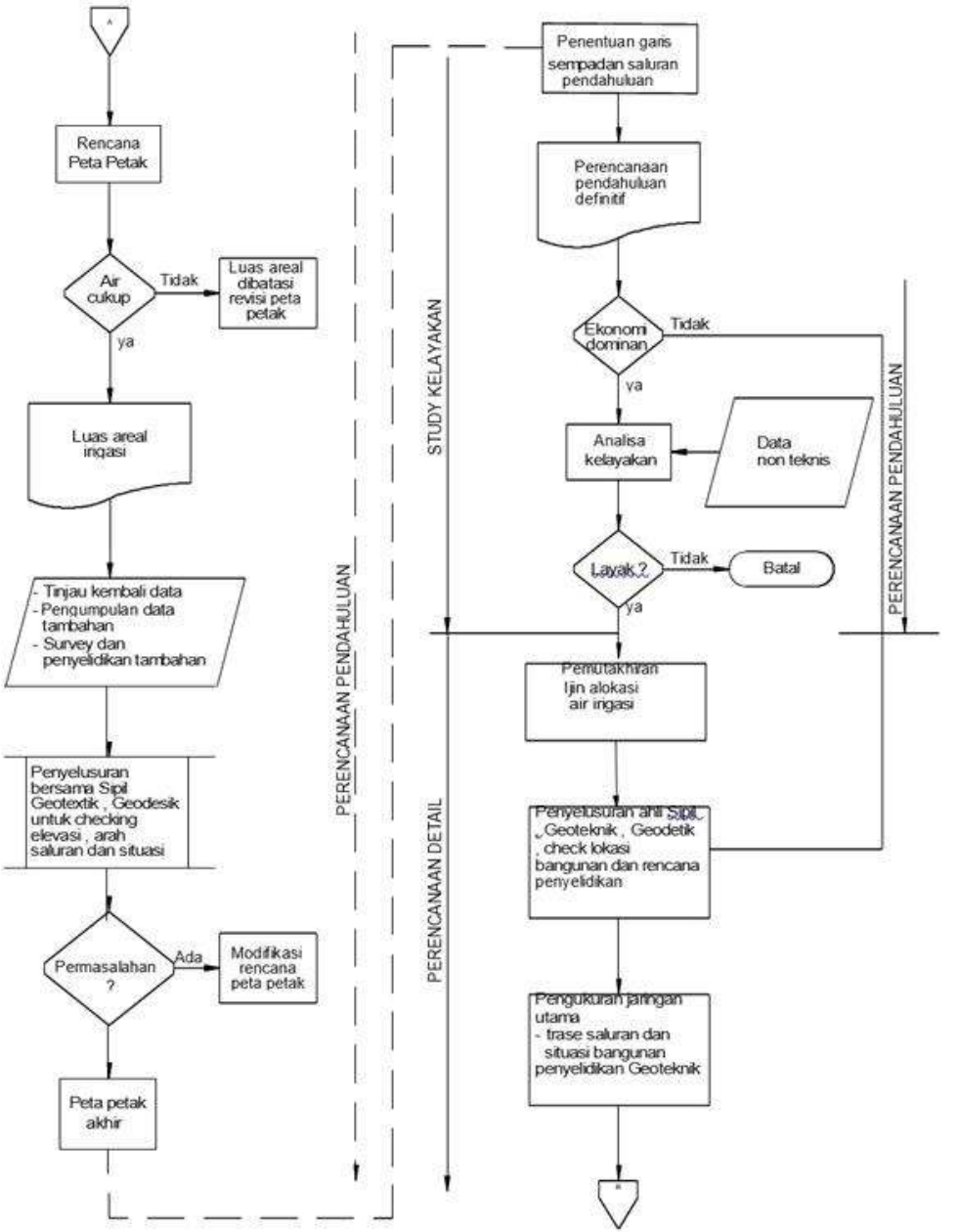
Klasifikasi sifat-sifat proyek dapat ditunjukkan dengan matriks sederhana (lihat Gambar 8.2).

'Ekonomis' berarti bahwa keuntungan dan biaya proyek merupakan data evaluasi yang punya arti penting. 'Non ekonomis' berarti jelas bahwa proyek menguntungkan. Faktor-faktor sosio-politis mungkin ikut memainkan peran; proyek yang ber-sangkutan memenuhi kebutuhan daerah (*regional*). Pada dasarnya semua proyek harus dianalisis dari segi ekonomi. Oleh sebab itu, kombinasi 4 tidak realistis. Sebagaimana sudah dikatakan dalam pasal 8.1, kadang-kadang dapat dibuat kombinasi antara beberapa taraf. Misalnya, kombinasi antara taraf Identifikasi dan taraf Pengenalan dalam suatu proyek ekaguna adalah sangat mungkin dilakukan.

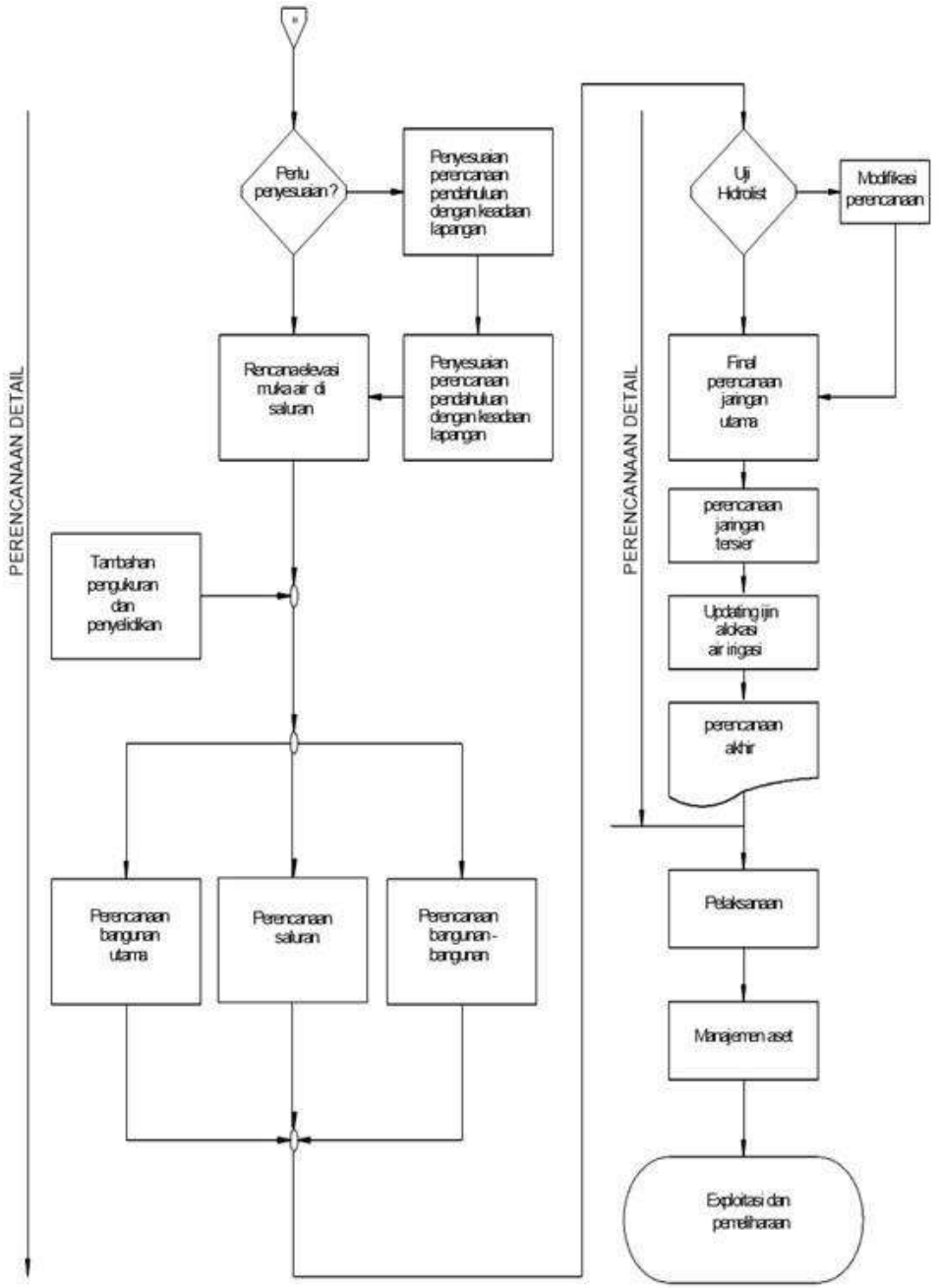
Berhubung studi berikutnya akan menggunakan data-data yang dikumpulkan selama taraf-taraf sebelumnya, adalah penting bagi lembaga yang berwenang untuk memeriksa dan meninjau kembali data-data tersebut agar keandalannya tetap terjamin. Demikian juga lembaga yang berwenang hendaknya mengecek dan meninjau kembali hasil-hasil studi yang lebih awal sebelum memasukkannya ke dalam studi mereka sendiri. Bagan arus yang diberikan pada Gambar 8.3 menunjukkan hubungan antara berbagai taraf dalam Tahap Studi dan Tahap Perencanaan.



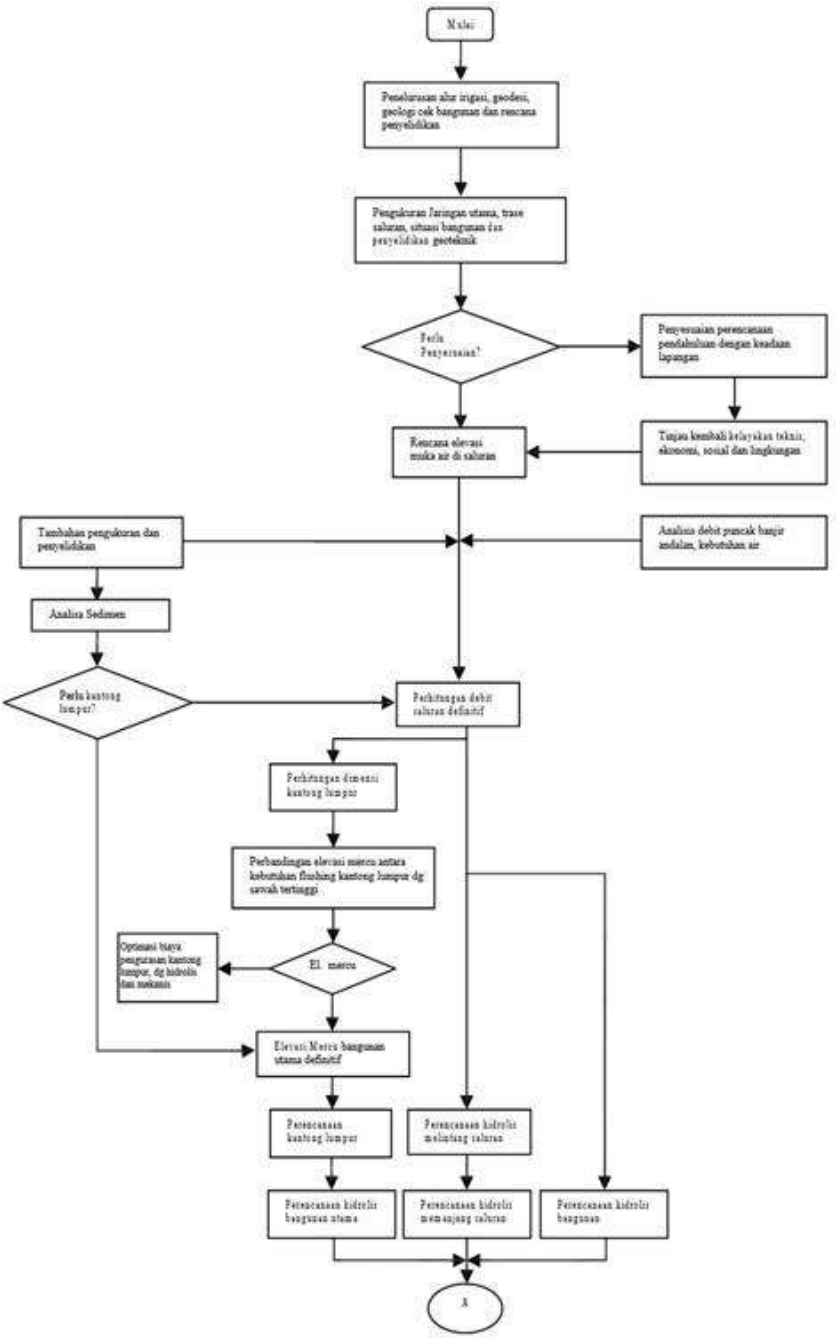
Gambar 8.3 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi Dan Perencanaan



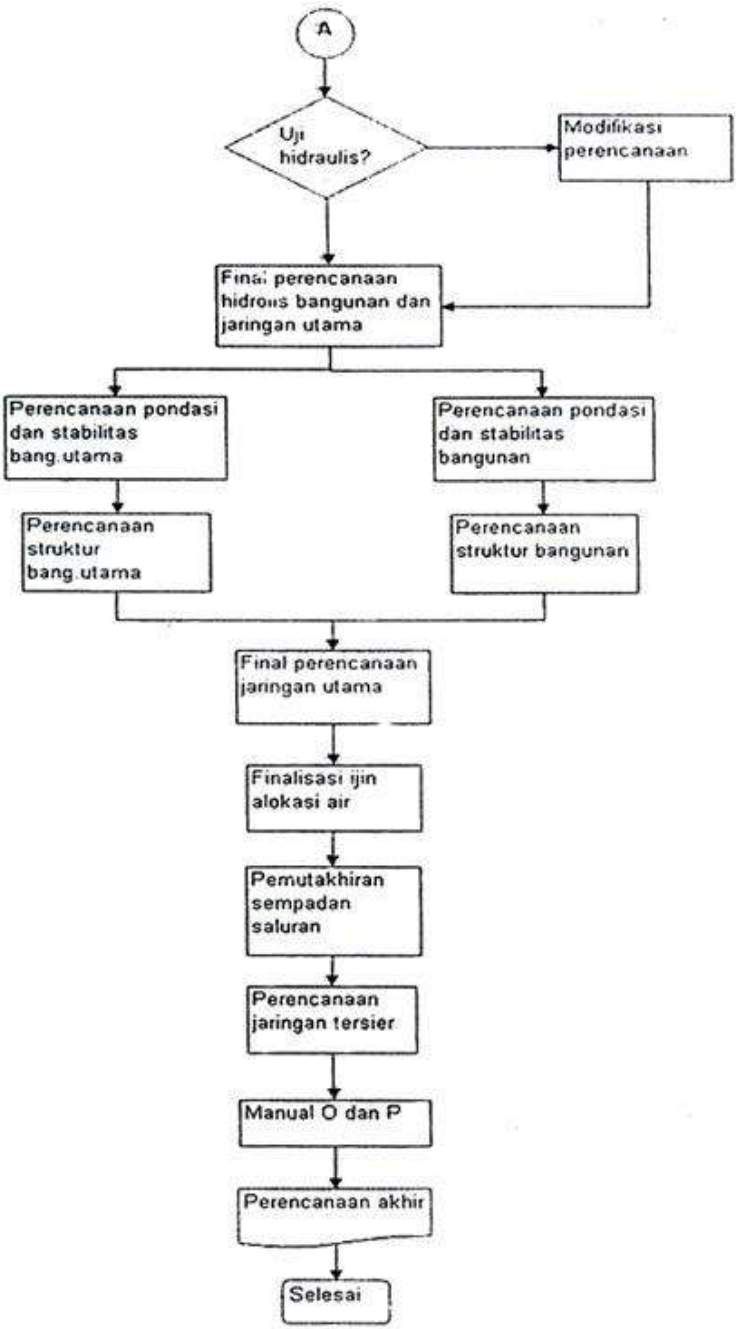
Gambar 8.4 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi Dan Perencanaan (Lanjutan)



Gambar 8.5 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi Dan Perencanaan (Lanjutan)



Gambar 8.6 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi Detail Desain



Gambar 8.7 Bagan Kegiatan-Kegiatan Pada Tahap Studi Detail Desain (Lanjutan)

Kebanyakan masalah dicakup di dalam studi yang berbeda-beda detail dan analisa akan menjadi lebih akurat dengan dilakukannya studi-studi berikutnya. Pada Tabel 8.2 dan 8.3 diuraikan kegiatan-kegiatan, data produk akhir rekomendasi dan derajat ketelitian yang diperlukan dalam berbagai taraf studi dan perencanaan.

Pada setiap taraf studi, ada tujuh persyaratan perencanaan proyek irigasi yang akan dianalisis dan dievaluasi. Persyaratan yang dimaksud adalah:

- Lokasi dan perkiraan luas daerah irigasi;
- Garis besar rencana pertanian;
- Sumber air irigasi dengan penilaian mengenai banyaknya air yang tersedia serta perkiraan kebutuhan akan air irigasi, kebutuhan air minum, air baku, industri dan rumah tangga;
- Deskripsi tentang pekerjaan prasarana infrastruktur baik yang sedang direncanakan maupun yang sudah ada dengan perkiraan lokasi-lokasi alternatifnya;
- Program pelaksanaan dan skala prioritas pengembangannya; terpenuhinya kedelapan persyaratan pengembangan dari Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (lihat pasal 8.2.2);
- Dampaknya terhadap pembangunan sosial-ekonomi dan lingkungan.

8.2.1 Studi awal

Ide untuk menjadikan suatu daerah menjadi daerah irigasi datang dari lapangan atau kantor. Konsep atau rencana membuat suatu proyek terbentuk melalui pengamatan kesempatan fisik di lapangan atau melalui analisa data-data topografi dan hidrologi.

Data-data yang berhubungan dengan daerah tersebut dikumpulkan (peta, laporan, gambar, dsb) dan dianalisis; hubungannya dengan daerah irigasi di dekatnya kemudian dipelajari. Selanjutnya dibuat rencana garis besar dan pola pengembangan beserta laporannya. Ketelitian yang dicapai sepenuhnya bergantung kepada data dan keterangan/informasi yang ada.

8.2.2 Studi identifikasi

Dalam Studi Identifikasi hasil-hasil Studi Awal diperiksa di lapangan untuk membuktikan layak-tidaknya suatu rencana proyek. Dalam taraf lapangan ini proyek akan dievaluasi sesuai dengan garis besar dan tujuan pengembangan proyek yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. Tujuan tersebut meliputi aspek-aspek berikut:

- Kesuburan tanah
- Tersedianya air dan air yang dibutuhkan (kualitas dan kuantitas) populasi sawah, petani (tersedia dan kemauan)
- Pemasaran produksi
- Jaringan jalan dan komunikasi
- Status tanah
- Banjir dan genangan
- Lain-lain (potensi transmigrasi, pertimbangan-pertimbangan nonekonomis)

Studi Identifikasi harus menghasilkan suatu gambaran yang jelas mengenai kelayakan (teknis) proyek yang bersangkutan. Akan tetapi studi ini akan didirikan pada data yang terbatas dan survei lapangan ini akan bersifat penjajakan/eksploratif, termasuk penilaian visual mengenai keadaan topografi daerah itu. Tim identifikasi harus terdiri dari orang- orang profesional yang sudah berpengalaman. Tim ini paling tidak terdiri dari:

- seorang ahli irigasi
- seorang perencana pertanian
- seorang ahli geoteknik, jika aspek-aspek geologi teknik dianggap penting dan jika diperkirakan akan dibuat waduk.

Studi Identifikasi akan didasarkan pada usulan (proposal) proyek yang dibuat pada taraf Studi Awal. Studi Identifikasi akan menilai kelayakan dari usulan tersebut serta menelaah ketujuh persyaratan perencanaan yang disebutkan dalam pendahuluan pasal ini. Selanjutnya hasil dari studi ini akan dituangkan dalam Pola Pengembangan Irigasi yang merupakan bagian dari Pola Pengembangan Wilayah Sungai.

8.2.3 Studi Pengenalan

Tujuan utama studi ini ialah untuk memberikan garis besar pengembangan pembangunan multisektor dari segi-segi teknis yang meliputi hal-hal berikut:

- Irigasi, hidrologi dan teknik sipil
- Pembuatan rencana induk pengembangan irigasi sebagai bagian dari Rencana Induk Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai yang dipadu serasikan dengan RUTR Wilayah.
- Agronomi
- Geologi
- Ekonomi
- Bidang-bidang yang berhubungan, seperti misalnya perikanan, tenaga air dan ekologi.
- Pengusulan ijin alokasi air irigasi.

Berbagai ahli dilibatkan di dalam studi multidisiplin ini. Data dikumpulkan dari lapangan dan kantor. Studi ini terutama menekankan irigasi dan aspek-aspek yang berkaitan langsung dengan irigasi. Beberapa disiplin ilmu hanya berfungsi sebagai pendukung saja; evaluasi data dan rencana semua diarahkan ke pengembangan irigasi.

Tabel 8.1 Studi Pengenalan

b. Studi Identifikasi	- kebutuhan peta seperti pada a - tidak ada survei dalam tahap studi hanya survey visual pada keadaan topografi - foto satelit (google map)	- kumpulkan informasi tentang tata guna tanah dan praktek pertanian yang ada - menilai pasaran untuk barang prod. pertanian - menilai kemampuan	- kumpulkan data lapangan mengenai banjir, penggenangan dan aliran rendah - kunjungi & periksa tempat-tempat pengukuran - menilai kebutuhan air	- klasifikasi tanah di lapangan di lokasi yg sudah ditentukan & formasi geologi	- identifikasi proyek lain yang mungkin (berdasarkan ke-8 kriteria dari Dirjen Pengairan) Dg sketsa perencanaan garis besar beserta alternatifnya - tipe jaringan irigasi	- hubungan dengan pemerintah setempat hambatan pengem-bangan - merulai latar belakang sosial politik - hambatan pengem-bangan	- tipe irigasi sistem & alternatif sumber air - potensi daerah yang akan dikembang-kan - daftar skala prioritas pengem-bangan - program taraf berikutnya	- jika ekonomi penting lanjutkan dgn studi pengenalan - jika ekonomi tak penting lanjutkan dg perencanaan pendahuluan - kumpulkan data tambahan unit kegiatan berikutnya	40-50%
	Kebutuhan Peta	Tanah Pertanian	Hidrologi Tersedianya air	Aspek Geoteknik	Perekayasaan	Aspek Multisektor	Produk akhir	Kesimpulan Rekomendasi	Derajat ketelitian
		tanah					- perkiraan biaya kasar unit taraf berikutnya		

c. Pengenalan Studi *)	- ada survey terbatas - peta situasi skala peta 1:10.000 dg selang kontur 1m	- seperti b tapi lebih detail - pastikan kecocokan tanah untuk pertanian irigasi - buat garis besar rencana pertanian - peta kecocokan tanah berskala 1:2 50.000	- analisis frekuensi banjir dan kekeringan - perkiraan sedimen, limpasan air hujan, erosi - neraca air pendahuluan	- seperti b tapi lebih detail - parameter perencanaan geologi teknik pendahuluan unt stabilitas pondasi & lereng (tanpa pemboran) - menilai tersedianya bahan bangunan	- buat garis besar perencanaan dengan sketsa tata letak & uraian pekerjaan dg skala 1:25.000 atau lebih	- spt pd b tp lebih detail - identifikasi komponen proyek multisektorde nganinstansi 2 yang berwenang - dampak terhadap lingkungan	- isi laporan studi pengenalan - lokasi alternatif bangunan utama - trase saluran - tersedianya r - dampak thdp lingkungan - kebutuhan air luas daerah irigasi tanaman & jadwal tanam - program - pelaksanaan - program pegukuran & penyelidikan - masterplan pengembang an irigasi di SWS - ijin alokasi air	- tenukan dgn studi kelayakan - kumpulkan data tambahan untuk studi kelayakan	Rekayasa 60% Biaya: 70%
	Kebutuhan Peta	Tanah Pertanian	Hidrologi Tersedianya air	Aspek Geoteknik	Perekayasaan	Aspek Multisektor	Produk akhir	Kesimpulan Rekomendasi	Derajat ketelitian
							- irigasi - skala prioritas - & perkiraan biaya - program survei topografi - analisis Cost-Benefit Ratio dan Economic Internal		

d. Studi Kelayakan	- peta situasi skala 1:5.000 dg cara terestis atau fotogrametris dg pengambilan foto udara skala 1:10.000 - peta situasi skala 1:2.000 unt bangunan-bangunan besar	- Penelitian tanah sedimentasi dan kemampuan tanah dengan peta skala 1:25.000 - rencana pertanian - studi tanah pertanian	- spt pada c - studi perimbangan air sungai - studi simulasi mengenai kebutuhan dan tersediannya air pada proyek	- penyelidikan geoteknik pada lokasi bangunan - bangunan utama dg pemboran - pengambilan contoh tanah sepanjang trase saluran & pd lokasi bangunan, bahan bangunan, daerah sumber galian bahan, penyelidikan tempat galian bahan - uji lab untuk contoh2	- rencana pendahuluan tata letak saluran, bangunan - tipe bangunan dg tipe-tipe perencanaannya - kapasitas rencana - cek trase saluran & elevasi saluran setiap 400 m - penentuan garis sempadan saluran - rincian volume & Biaya	- spt pd c dg studi kelayakan detail unt komponen proyek multi sektor	- kebutuhan air - daerah yg bisa diairi - tata letak jaringan irigasi perencanaan pendahuluan saluran & bangunan tipe bangunan - penutakhiran ijin alokasi air - rincian volume& biaya (BOQ) Cost- Benefit dan Economic Internal Rate of Return - analisis dampak	- dg tata letak jaringan irigasi & kelayakan yg telah terbukti, lanutkan dg perencanaan detail - kumpulkan data-2 tambahan untuk perencanaan detail - siapkan pengukuran & penyelidikan detail	Rekayasa: 75% Biaya: 90%
	Kebutuhan Peta	Tanah Pertanian	Hidrologi Tersedianya air	Aspek Geoteknik	Perekayasaan	Aspek Multisektor	Produk akhir	Kesimpulan Rekomendasi	Derajat ketelitian
				pilihan guna mengetahui sifat2 teknik tanah	pendahuluan & perkiraan biaya		proyek terhadap lingkungan		

Untuk Studi Pengenalan tidak dilakukan pengukuran aspek-aspek topografi (peta dengan garis-garis kontur berskala 1:25.000) geologi teknik (penyelidikan Pendahuluan) dan kecocokan tanah (peta kemampuan tanah berskala 1:250.000). Semua kesimpulan dibuat berdasarka. pemeriksaan lapangan, sedangkan alternatif rencana teknik didasarkan pada peta-peta yang tersedia. Ketepatan rencana teknik sangat bergantung pada ketepatan peta. Akan tetapi, rencana tersebut akan menetapkan tipe irigasi dan bangunan. Studi Pengenalan akan memberikan kesimpulan-kesimpulan tentang ketujuh persyaratan perencanaan seperti telah disebutkan dalam pendahuluan Pasal 3, luas daerah irigasi akan ditetapkan dan nama proyek akan diberikan.

8.2.4 Studi Kelayakan

Jika perlu, Studi Kelayakan bisa didahului dengan Studi Prakelayakan. Tujuan utama Studi Prakelayakan adalah untuk menyaring berbagai proyek alternatif yang sudah dirumuskan dalam Studi Pengenalan berdasarkan perkiraan biaya dan keuntungan yang dapat diperoleh. Alternatif untuk studi lebih lanjut akan ditentukan. Pada taraf ini tidak diadakan pengukuran lapangan, tetapi hanya akan dilakukan pemeriksaan lapangan saja.

Tujuan utama studi kelayakan adalah untuk menilai kelayakan pelaksanaan untuk proyek dilihat dari segi teknis dan ekonomis. Studi kelayakan bertujuan untuk:

- Memastikan bahwa penduduk setempat akan mendukung dilaksanakannya proyek yang bersangkutan;
- Memastikan bahwa masalah sosial dan lingkungan lainnya bisa diatasi tanpa kesulitan tinggi
- Mengumpulkan dan meninjau kembali hasil-hasil studi yang telah dilakukan sebelumnya;
- Mengumpulkan serta menilai mutu data yang sudah tersedia;
    - Para petani pemakai air sekarang dan di masa mendatang
    - Topografi
    - Curah hujan dan aliran sungai
    - Pengukuran tanah

  - Status tanah dan hak atas air
  - Kebutuhan air tanaman dan kehilangan-kehilangan air
  - Polatanam dan panenan
  - Data-data geologi teknik untuk bangunan
  - Biaya pelaksanaan
  - Harga beli dan harga jual hasil-hasil pertanian
- Menentukan data-data lain yang diperlukan;
- Memperkirakan jumlah air rata-rata yang tersedia serta jumlah air di musim kering;
- Menetapkan luas tanah yang cocok untuk irigasi;
- Memperkirakan kebutuhan air yang dipakai untuk keperluan-keperluan nonirigasi;
- Menunjukkan satu atau lebih pola tanam dan intensitas (seringnya) tanam sesuai dengan air dan tanah irigasi yang tersedia, mungkin harus juga dipertimbangkan potensi tadah hujan dan penyiangan; mempertimbangkan pemanfaatan sumber daya air untuk berbagai tujuan;
- Pemutakhiran ijin alokasi air irigasi
- Membuat perencanaan garis besar untuk pekerjaan yang diperlukan; memperkirakan biaya pekerjaan, pembebasan tanah dan eksploitasi;
- Memperkirakan keuntungan langsung maupun tak langsung serta dampak yang ditimbulkannya terhadap lingkungan;
- Melakukan analisis ekonomi dan keuangan;
- Jika perlu, bandingkan ukuran-ukuran alternatif dari rencana yang sama, atau satu dengan yang lain, bila perlu siapkan neraca air untuk rencana-rencana alternatif, termasuk masing-masing sumber dan kebutuhan, jadi pilihlah pengembangan yang optimum.

Untuk mencapai tingkat ketelitian yang tinggi pada studi kelayakan dibutuhkan data yang lebih lengkap guna merumuskan semua komponen proyek yang direncanakan. Dengan memasukkan masalah sosial dan lingkungan, diharapkan saat pelaksanaan konstruksi nanti tidak timbul gejolak sosial dan permasalahan

lingkungan. Perencanaan pendahuluan untuk pekerjaan prasarana yang diperlukan hanya dapat dibuat berdasarkan data topografi yang cukup lengkap. Studi Kelayakan biasanya memerlukan pengukuran topografi tambahan. Perekayasaan untuk Studi Kelayakan harus mengikuti persyaratan untuk perencanaan pendahuluan seperti yang diuraikan dalam pasal 3.3.1.

8.2.5 Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan dimulai setelah diambilnya keputusan untuk melaksanakan proyek. Di sini dibedakan adanya dua taraf seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.3.

- Taraf Perencanaan Pendahuluan
- Taraf Perencanaan Akhir (detail)

Perencanaan Pendahuluan merupakan bagian dari Studi Kelayakan. Jika tidak dilakukan Studi Kelayakan, maka Tahap Perencanaan Pendahuluan harus dilaksanakan sebelum Tahap Perencanaan Akhir.

Ahli irigasi yang ambil bagian dalam Tahap Perencanaan, sering belum terlibat di dalam Tahap studi. Oleh karena itu ia diwajibkan untuk mengadakan verifikasi dan mempelajari kesimpulan-kesimpulan yang dicapai pada Tahap Studi sebelum ia memulai pekerjaannya. Kalau demikian halnya, maka boleh jadi diperlukan studi ulang atau penyelidikan tambahan. Kegiatan-kegiatan pada Studi Kelayakan juga banyak mencakup kegiatan. Kegiatan yang dilakukan pada Taraf Perencanaan Pendahuluan.

8.2.5.1 Taraf Perencanaan Pendahuluan

a. Pengukuran

1. Peta topografi

Program pemetaan dimulai dengan peninjauan cakupan, ketelitian dan kecocokan peta-peta dan foto udara yang sudah ada. Lebih lanjut akan direncanakan pengukuran-pengukuran, pemotretan udara dan pemetaan dengan ketentuan-ketentuan yang mendetail biasanya akan dibuat sebuah peta topografi baru yang dilengkapi dengan garis-garis tinggi untuk proyek-itu.

Peta topografi itu terutama akan digunakan dalam pembuatan tata letak pendahuluan jaringan irigasi yang bersangkutan. Peta-peta topografi dibuat dengan skala 1: 25.000 untuk tata letak umum, dan 1 : 5.000 untuk tata letak detail.

Pemetaan topografi sebaiknya didasarkan pada foto udara terbaru, dengan skala foto sekitar 1 : 10.000. Hal ini akan mempermudah perubahan petapeta ortofoto atau mosaik yang dilengkapi dengan garis-garis ketinggian yang memperlihatkan detail lengkap topografi seandainya tidak belum tersedia foto udara dan pembuatan foto udara baru akan meminta terlalu banyak biaya, maka sebagai gantinya dapat dibuat peta terestris yang dilengkapi dengan garis-garis tinggi.

Bila foto udara tersebut dibuat khusus untuk proyek, maka skalanya adalah sekitar 1:10.000, digunakan baik untuk taraf perencanaan maupun studi kelayakan. Biasanya pembuatan peta untuk proyek irigasi seluas 10.000 ha atau lebih, didasarkan pada hasil pemotretan udara.

	Lokasi Topografi	Tanah Pertanian	Hidrologi dan tersedianya air	Aspek Geoteknik	Perekayasaan	Aspek Multisektor	Produk Akhir	Kesimpulan & Rekomendasi	Derajat ketelitian
a. Perencanaan Pendahuluan	- peta situasi skala 1:5.000 dg cara terestis atau fotogrametris dg peng-ambilan foto udara skala 1: 10.000 - peta situasi skala 1:2.000 unt bangunan-bangunan besar - peta situasi skala 1:5.000 dg cara terestis atau fotogrametris dg peng-ambilan foto udara skala 1:10.000	- pengukuran tanah & semidetail dan penelitian kecocokan tanah dgn peta 1:25.000 - rencana pertanian - pola tanam - kebutuhan penyiapan lahan - peremaian - pengolahan	- pengukuran lapangan - pengumpulan data tambahan - perhitungan neraca air - kebutuhan air - tersedianya air - kebutuhan rotasi - kebutuhan pembuang - banjir rencana	- penyediaan geoteknik terbatas lokasi bangunan-bangunan besar dengan pemboran - pengambilan contoh sepanjang trase saluran dan lokasi bangunan - bahan bangunan, penyelidikan sumber bahan galian & timbunan - uji lab.contoh2 yg dipilih guna mengetahui sifat2 teknik tanah - rumuskan program penyelidikan detail	- perencanaan tata letak akhir saluran & bangunan - tipe bangunan dg tipe peren-canaannya - kapasitas rencana - cek trase dan elevasi saluran setiap 400m - rincian volume dan Biaya dan perkiraan biaya (awal) - rumuskan penyelidikan model, jika perlu		Laporan Peren-canaan pen-dahuluan - peta topografi dgn garis2 kontur, skala 1:25.000 dan 1:5000 - peta lokasi bangunan-bangunan besar skala 1:500 - Peta kemampuan tanah - analisis tersedianya air, kebutuhan air dan kebutuhan pembuang - pola tanaman - tata letak akhir jaringan irigasi dan pembuang skala 1:25.000 dan 1:5.000 - gambar-	- berdasarkan tata letak akhir, lanjutkan dg perencanaan detail - kumpulkan data tambahan untuk perencanaan detail - persiapan penyelidikan dan pengukuran detail	Rekayasa: 70% Biaya: 90%

	Lokasi Topografi	Tanah Pertanian	Hidrologi dan tersedianya air	Aspek Geoteknik	Perekayasaan	Aspek Multisektor	Produk Akhir	Kesimpulan & Rekomendasi	Derajat ketelitian
	- peta situasi skala 1:2.000 unt bangunan-bangunan besar						- gambar perencanaan pendahuluan unt bangunan utama, saluran & bangunan		
b. Perencanaan Akhir (Detail)	- pengukuran trase saluran dengan skala peta 1:2.000 dan bangunan-bangunan pelengkap dg skala 1:200 - laporan akhir	- pola tanam akhir (definitif)	- Perhitungan akhir untuk laporan perencanaan	- penyelidikan geoteknik detail dengan pemboran, jika perlu, untuk lokasi bangunan utama, saluran, bangunan, sumber bahan galian/timbunan - parameter perencanaan geoteknik yang dianjurkan - perhitungan akhir untuk laporan perencanaan	- penyelidikan model hidrolis (jk perlu) - tinjau dan modifikasi perencanaan pendahuluan menjadi perencanaan akhir - perencanaan detail, gambar perencanaan Rincian volume dan biaya dan Dokumentasi Tender - Laporan Perencanaan - Biaya dan metode pelaksanaan	Kerjasama dg instansi-instansi unt aspek-aspek yg ber-hubungan: jalan, transmigrasi, pertanian, PEMDA	Laporan Perencanaan - Semua informasi dan data dasar - perhitungan perencanaan - gambar2 pelaksanaan - rincian volume & biaya - perkiraan biaya - metode & program pelaksanaan - Dokumen tender - Buku petunjuk E&P	- persiapan pelaksanaan - kumpulkan data2 tambahan unt pelaksanaan - pembebasan tanah	Rekayasa: 90% Biaya: 95%

Selama pemetaan topografi, sebagian dari sungai, di mana terletak bangunan-bangunan utama proyek (bendungan atau bendung gerak) dan lokasi-lokasi bangunan silang utama dapat juga diukur. Ini akan menghasilkan peta lokasi detail berskala 1:500/200 untuk lokasi bangunan utama dan bangunan-bangunan silang tersebut informasi ini sangat tak ternilai harganya dalam taraf perencanaan pendahuluan dan akan memperlancar proses perencanaan. Bagaimanapun sifat pekerjaan, terpencilnya lapangan, pengaruh musim dan banyaknya instansi yang terlibat di dalamnya, perencanaan yang teliti dan tepat waktu adalah penting. Salah hitung dapat dengan mudah menyebabkan tertundanya tahap perencanaan berikutnya.

2. Penelitian kemampuan tanah

Studi Identifikasi atau Studi Pengenalan memberikan kesimpulan mengenai kemampuan tanah daerah yang bersangkutan untuk irigasi tanah pertanian. Kesimpulan ini didasarkan pada hasil penilaian data yang tersedia dan hasil penyelidikan lapangan terbatas yang dilakukan selama peninjauan lapangan. Dengan keadaan tanah yang seragam rencana pertanian dapat diperkirakan dengan ketepatan yang memadai berdasarkan data-data yang terbatas tersebut. Apabila keadaan tanah sangat bervariasi dan jelek, maka ahli pertanian irigasi bisa meminta data tanah yang lebih detail.

Penelitian kemampuan tanah dapat dilaksanakan sebelum pembuatan tata letak pendahuluan. Hasil-hasil penelitian ini, akan merupakan panduan bagi ahli irigasi untuk memutuskan apakah suatu daerah tidak akan diairi akibat keadaannya yang jelek.

Untuk melakukan penelitian ini harus sudah tersedia peta dasar topografi atau foto udara. Penelitian kemampuan tanah harus diadakan sampai tingkat setengah-detail, dengan pengamatan tanah per 25 sampai 50 ha.

Penelitian ini juga akan mengumpulkan data-data mengenai permeabilitas/ kelulusan dan perkolasi tanah untuk dipakai sebagai bahan, masukan bagi penghitungan kebutuhan air irigasi.

Penelitian kemampuan tanah untuk studi kelayakan serupa dengan penelitian yang sudah dijelaskan di atas.

b. Perencanaan pendahuluan

Tujuan yang akan dicapai oleh tahap perencanaan pendahuluan adalah untuk menentukan lokasi dan ketinggian bangunan-bangunan utama, saluran irigasi dan pembuang, dan luas daerah layanan yang kesemuanya masih bersifat pendahuluan. Walaupun tahap ini masih disebut perencanaan "pendahuluan", namun harus dimengerti bahwa hasilnya harus diusahakan setepat mungkin.

Pekerjaan dan usaha yang teliti dalam tahap perencanaan pendahuluan akan menghasilkan perencanaan detail yang bagus. Hasil perencanaan pendahuluan yang jelek sering tidak diperbaiki lagi dalam taraf perencanaan detail demi alasan-alasan praktis. Pada taraf perencanaan pendahuluan akan diambil keputusan-keputusan mengenai:

- Lokasi bangunan-bangunan utama dan bangunan-bangunan silang utama.
- Tata letak jaringan
- Perencanaan petak-petak tersier
- Pemilihan tipe-tipe bangunan
- Trase dan potongan memanjang saluran
- Pengusulan garis sempadan saluran pendahuluan
- Jaringan dan bangunan pembuang.

Dalam menentukan keputusan-keputusan di atas, sering harus digunakan sejumlah kriteria yang luas dan kompleks yang kadang-kadang saling bertentangan untuk mendapatkan pemecahan yang "terbaik". Pada dasarnya seluruh permasalahan teknik yang mungkin timbul selama perencanaan, bagaimana pun kurang pentingnya, akan ditinjau pada tahap ini.

Perencanaan pendahuluan merupakan pekerjaan ahli irigasi yang sudah berpengalaman di bidang perencanaan umum dan perencanaan teknis. Adalah penting bagi seorang ahli irigasi untuk mengenalapangan sebaik-baiknya. Ahli tersebut akan memeriksa

dan meninjau rancangan (draft) perencanaan pendahuluan di lapangan. Ia akan melakukan pemeriksaan lapangan didampingi kurangnya seorang ahli geodetik untuk bidang topografi geoteknik untuk sifat-sifat teknik tanah.

Perekayasa juga diwajibkan untuk mencek hasil-hasil pengukuran topografi di lapangan. Pemeriksaan ini harus mencakup hasil pengukuran trase dan elevasi saluran yang direncana. Elevasi harus dicek setiap interval 400m. Ketelitian peta garis-garis tinggi harus dicek.

Selain cek trase dan elevasi saluran pencekan lapangan harus mencakup hasil-hasil pengukuran ulang ketinggian-ketinggian penting yang dilakukan pada tarat perencanaan pendahuluan, misalnya bangunan utama, bangunan-bangunan silang utama, beberapa benchmark, dan alat pencatat otomatis tinggi muka air.

Perencanaan pendahuluan meliputi:

- Tata letak dengan skala 1: 25.000 dan presentasi detail dengan skala 1 : 5.000
- Potongan memanjang yang diukur di lapangan dengan perkiraan ukuran-ukuran potongan melintang dari peta garis tinggi serta garis sempadan saluran.
- Tipe-tipe bangunan
- Perencanaan bangunan utama
- Perencanaan bangunan-bangunan besar. Rincian lebih lanjut akan diberikan dalam Bab 5.

Untuk keperluan studi kelayakan yang mendukung perencanaan pendahuluan maka dibuat dengan persyaratan yang serupa. Perencanaan pendahuluan didasarkan pada pengukuran trase saluran dan pengukuran situasi untuk bangunan. Detail persyaratan pengukuran ini, misalnya lokasi dan ketinggian, berupa bagian dari perencanaan pendahuluan.

Dari perencanaan pendahuluan untuk bangunan utama akan dapat dirumuskan ketentuan untuk penyelidikan hidrolis model dan penyelidikan geoteknik detail, jika diperlukan. Sifat dan ruang lingkup pekerjaan ini akan ditentukan kemudian. Pada tahap

perencanaan pendahuluan akan dibuat analisis hidrologi proyek yang meliputi:

- Tersedianya air
- Kebutuhan air
- Neraca air.

Analisis itu dimaksudkan untuk untuk meyakinkan bahwa tersedia cukup air untuk irigasi dan tujuan-tujuan lain khususnya air minum di daerah proyek yang direncanakan. Analisis hidrologi ini didasarkan pada data-data yang diperoleh pada Tahap Studi Analisis ini mutlak perlu apabila air yang tersedia terbatas tapi daerah yang harus diairi sangat luas. Berdasarkan jumlah air yang tersedia, dibuatlah perhitungan detail mengenai daerah maksimum yang akan diairi. Baru kemudian tata letak dapat dibuat. Berdasarkan hasil analisa kebutuhan air maka pemutakhiran ijin alokasi air irigasi dapat dibuat. Hasil-hasil analisis ini bahkan mungkin menunjukkan perlu ditinjaunya kembali rencana pertanian yang telah diusulkan dalam Tahap Studi sebelumnya.

8.2.5.2 Taraf Perencanaan Akhir a.

Pengukuran dan penyelidikan

Untuk melaksanakan perencanaan akhir, sejumlah pengukuran dan penyelidikan harus dilakukan. Rumusan dan ketentuan pengukuran dan penyelidikan ini didasarkan pada hasil-basil dan penemuan tahap perencanaan pendahuluan. Tanggung jawab atas persyaratan, pelaksanaan dan hasil-hasil akhir ada pada perekayasa.

Kegiatan-kegiatan ini meliputi:

i. Pengukuran topografi
   - Pengukuran trase saluran
   - Pengukuran situasi bangunan-bangunan khusus

ii. Penyelidikan geologi teknik
   - Geologi
   - Mekanika tanah

iii. Penyelidikan model hidrolis.

Perencanaan serta pengawasan pengukuran dan penyelidikan harus dilakukan dengan teliti. Ada berbagai instansi yang terlibat di dalam kegiatan-kegiatan di daerah terpencil. Keadaan iklim bisa menghambat pelaksanaan pekerjaan ini, mungkin hanya bisa dilakukan di musim kemarau saja. Penundaan-penundaan yang terjadi selama dilakukannya pekerjaan pengukuran akan sangat mempengaruhi kegiatan-kegiatan perencanaan akhir.

iv. Pengukuran topografi

Pengukuran trase saluran dilakukan menyusul masuknya hasil-hasil tahap perencanaan pendahuluan. Adalah penting bahwa untuk pengukuran sipat datar trase saluran hanya dipakai satu basis (satu tinggi benchmark acuan). Tahap ini telah selesai dan menghasilkan peta tata letak dengan skala 1 : 5.000 di mana trase saluran diplot. Ahli irigasi harus sudah menyelidiki trase ini sampai lingkup tertentu dan sudah memahami ketentuan-ketentuan khusus pengukuran (lihat pasal 3.3.1.b).

Pengukuran-pengukuran situasi juga dilaksanakan pada taraf ini yang meliputi:

- Saluran-pembuang silang yang besar di mana topografi terlalu tidak teratur untuk menentukan lokasi as saluran pada lokasi persilangan;
- Lokasi bangunan-bangunan khusus.

Di sini ahli irigasi harus memberikan ketentuan-ketentuan/ spesifikasi dan bertanggung jawab atas hasil-hasilnya.

v. Penyelidikan Geologi Teknik

Informasi mengenai geologi teknik yang diperlukan untuk perencanaan dikhususkan pada kondisi geologi, subbase (pondasi) daya dukung tanah, kelulusan (permeabilitas) dan daerah-daerah yang mungkin dapat dijadikan lokasi sumber bahan timbunan.

Pada tahap studi penilaian pendahuluan mengenai karakteristik geologi teknik dan geologi dibuat berdasarkan data-data yang ada dan inspeksi penyelidikan lapangan. Penyelidikan detail dirumuskan segera setelah rencana pendahuluan pekerjaan teknik diselesaikan.

Sering terjadi bahwa penyelidikan pondasi bangunan ini dilakukan terbatas sampai pada bangunan utama saja jika perlu dengan cara pemboran atau penyelidikan secara elektrik. Namun demikian, dalam beberapa hal lokasi bangunan besar mungkin juga memerlukan penyelidikan geologi teknik sehubungan dengan terdapatnya keadaan subbase yang lemah. Penyelidikan saluran sering terbatas hanya sampai pada tes-tes yang sederhana, misalnya pemboran tangan.

Untuk saluran-saluran pada galian atau timbunan tinggi dengan keadaan tanah yang jelek, akan diperlukan penyelidikan-penyelidikan yang lebih terinci. Ketentuan-ketentuan penyelidikan ini dan ruang lingkup pengukurannya akan dirancang oleh ahli irigasi berkonsultasi dengan ahli geologi dan ahli mekanika tanah yang bertanggung jawab atas pelaksanaan penyelidikan tersebut.

Analisis dan evaluasi datanya akan dikerjakan oleh ahli geologi teknik dan hasilnya harus siap pakai untuk perencanaan. Dari awal keikutsertaannya, ahli itu harus memiliki pengetahuan yang jelas mengenai bangunan-bangunan yang direncanakan. Akan tetapi, perencanaan akhir diputuskan oleh perencana.

Perlu diingat bahwa sebagian dari kegiatan-kegiatan penyelidikan geologi teknik di atas, telah dilakukan untuk studi kelayakan proyek. Biasanya data-data ini tidak cukup untuk perencanaan detail, khususnya yang menyangkut pondasi bangunan-bangunan besar.

vi. Penyelidikan hidrolis model

Untuk perencanaan jaringan irigasi penyelidikan model hidrolis mungkin hanya diperlukan untuk bangunan-

bangunan utama dan beberapa bangunan besar di dalam jaringan itu. Pada umumnya penyelidikan dengan model diperlukan apabila rumus teoritis dan empiris aliran tidak bisa merumuskan pola aliran penggerusan lokal dan angkutan sedimen di sungai. Selanjutnya penyelidikan hidrolis model akan membantu menentukan bentuk hidrolis, bangunan utama dan pekerjaan sungai di ruas sungai sebelahnya.

Perencanaan pendahuluan untuk bangunan utama akan didasarkan pada kriteria teoritis dan empiris. Pengalaman masa lalu dan bangunan utama lain akan merupakan tuntunan bagi perekayasa yang belum berpengalaman dalam menentukan bentuk hidrolis yang terbaik.

Apabila penyelidikan dengan model memang diperlukan, maka ahli irigasi akan merumuskan program dan ketentuan-ketentuan tes dan penyelidikan setelah berkonsultasi dahulu dengan pihak laboratorium. Penyelidikan dengan model tersebut harus menghasilkan petunjuk-petunjuk yang jelas mengenai modifikasi terhadap perencanaan pendahuluan. Perencanaan, akhir akan diputuskan oleh perencana berdasarkan hasil-hasil penyelidikan dengan model.

b. Perencanaan dan laporan akhir

Pembuatan perencanaan akhir merupakan tahap terakhir dalam Perencanaan Jaringan lrigasi. Dalam tahap ini gambar-gambar tata letak, saluran dan bangunan akan dibuat detail akhir.

Tahap perencanaan akhir akan disusul dengan perkiraan biaya, program dan metode pelaksanaan, pembuatan dokumen tender dan pelaksanaan. Perencanaan akhir akan disajikan sebagai laporan perencanaan yang berisi semua data yang telah dijadikan dasar perencanaan tersebut serta kriteria yang diterapkan, maupun gambar-gambar perencanaan dan rincian volume dan biaya (*bill of quantities*). Laporan itu juga memuat informasi mengenai urut-urutan pekerjaan pelaksanaan dan ekspoitasi dan pemeliharaan jaringan irigasi.

Perubahan trase saluran dan posisi bangunan irigasi dimungkinkan karena pertimbangan topografi dan geoteknik untuk itu garis sempadan saluran harus disesuaikan dengan perubahan tersebut.

POLA TANAM 9

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

- Menjelaskan Pola Tanam

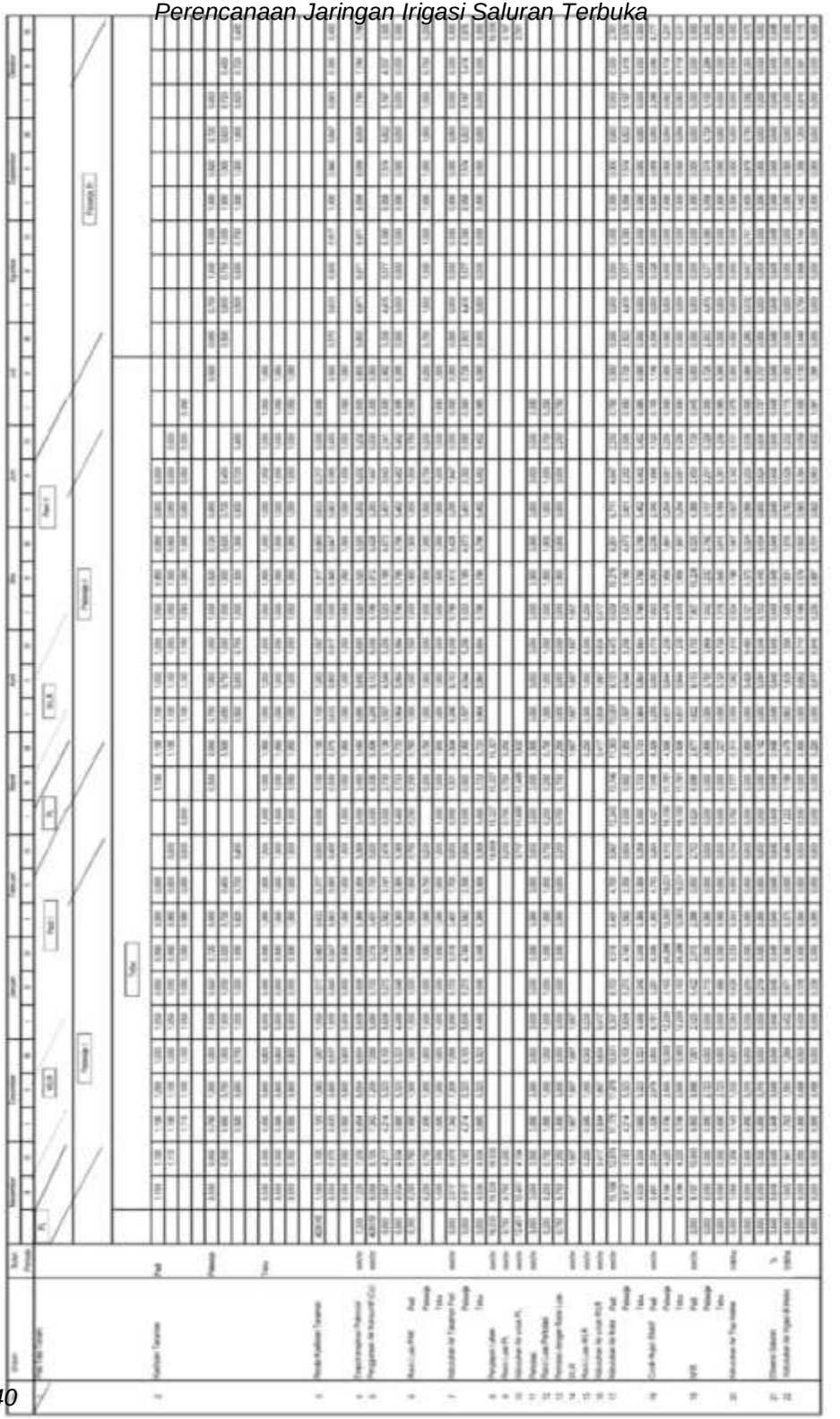
Fungsi jaringan irigasi adalah menyalurkan dan mendistribusikan air ke sawah untuk mencukupi budidaya pertanian pada musim kemarau dan musim penghujan. Oleh sebab itu, dalam pengelolaan jaringan irigasi perlu diperhatikan pengaturan air dan pembagian air serta pemeliharaan dari sumber air sampai ke petak tersier. Pola tanam ialah susunan rencana penanaman sebagai jenis tanaman selama satu tahun yang umumnya di Indonesia dikelompokkan ke dalam tiga jenis tanaman yaitu padi, tebu, dan palawija.

Umumnya pola tanam mengikuti debit andalan yang tersedia untuk mendapatkan luas tanam yang seluas-luasnya. Perencanaan dan persiapan pola tanam serta jadwal tanam suatu jaringan irigasi bervariasi sesuai dengan kebiasaan petani terhadap jenis tanaman yang akan dibudidayakan dan jadwal tanamnya. Dalam penerapan pola tanam dan jadwal tanam, kadang-kadang petani mempertimbangkan banyak faktor lain seperti keterbatasan modal, buruh, cuaca, hama, ketersediaan

benih dan pangsa pasar (Anonim, 1997:IV-12).Dalam pengembangan pola dan jadwal tanam pada suatu daerah irigasi dengan skala besar yang mencakup beberapa kabupaten.

Perlu dipertimbangkan antara lain bulan terjadinya banjir, hama, ketersediaan benih, ketersediaan tenaga kerja dan jadwal pengeringan saluran untuk pemeliharaan. Tata tanam merupakan upaya pengaturan air, yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman menurut jenis dan luas tanaman pada suatu lahan sawah atau daerah irigasi. Dalam menyusun rencana tata tanam suatu daerah irigasi perlu diperhatikan kondisi setempat, untuk hal-hal sebagai berikut (Anonim, 2000:II-1):

1. Keinginan dan kebiasaan petani
2. Kebijaksanaan Pemerintah
3. Kesesuaian lahan terhadap jenis tanaman
4. Ketersediaan air
5. Iklim dan hama
6. Ketersediaan tenaga kerja
7. Hasil dan biaya usaha tanah



10 KEGIATAN OPERASI JARINGAN IRIGASI

10.1 Ruang Lingkup Kegiatan Operasi Jaringan Irigasi

Ruang Lingkup Kegiatan Operasi Jaringan Irigasi meliputi:

10.1.1 Perencanaan

a. Perencanaan Penyediaan Air Tahunan

b . Perencanaan Tata Tanam Detail

c. Rapat Komisi Irigasi untuk Menyusun Rencana Tata Tanam

d. SK Bupati/Walikota atau Gubernur Mengenai Rencana Tata Tanam

e. Perencanaan Pembagian dan Pemberian Air Tahunan

10.1.2 Pelaksanaan

a. Laporan keadaan air dan tanaman

b . Penentuan rencana kebutuhan air di pintu pengambilan;

c. Pencatatan Debit Saluran;

d. Penetapan Pembagian Air pada Jaringan Sekunder dan Primer

e. Pencatatan Debit Sungai/ Bangunan Pengambilan

f. Perhitungan faktor-K atau Faktor Palawija Relatif (FPR)

g. Laporan Produktivitas dan Neraca Pembagian Air per Daerah Irigasi
h. Rekap Kabupaten per Masa Tanam);
i. Rekap Provinsi;
j. Pengoperasian Bangunan Pengatur Irigasi

11 PEMBAGIAN AIR IRGASI

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

- Menjelaskan Tujuan Pengaturan Pemberian Air
- Menjelaskan Sistem Pemberian Air Irigasi
- Menjelaskan Sistem Pemberian Air Secara Terus Menerus
- Menjelaskan Sistem Pemberian Air Secara Giliran
- Menjelaskan Beberapa cara pemberian air irigasi di Indonesia

Pemberian air irigasi yang paling sederhana berlandaskan pada penggenangan lahan, yaitu pemberian air yang tidak diatur ke lahan yang akan diairi dengan menyadap dari sungai. Perkembangan awal dibuat dengan membagi air secara proporsional yang mengaitkan debit air dengan ukuran luas daerah yang dialiri.

Keadaan air pada musim hujan, air cukup tersedia bahkan bisa dikatakan berlebih, baik dari hujan effektif maupun debit sungai yang cukup besar maka pengaturan pemberian airnya dilakukan dengan cara terus menerus dengan memperhatikan air pembuangan pada saluran pembuang drainase yang baik. Cara

terus menerus ini dilakukan jika ketersediaan air mencukupi atau melebihi dari kebutuhan dimana hal ini dapat berlangsung selama debit yang tersedia untuk mengairi petak tersebut lebih dari 75% (setinggi air normal) (Anonim, 1997 : III-2).

Keadaan air pada musim kemarau pada umumnya sangat dirasakan selalu kurang air. Maka perlu diatur pemberian airnya dengan cara giliran, baik giliran blok maupun giliran kelompok tersier. Cara giliran ini dilakukan apabila air disaluran tidak mencukupi kebutuhan (kurang dari 75%). Hal ini dimaksudkan agar pembagian air ke masing-masing petak dapat terbagi secara merata kwarter bagian hilir (Anonim,1997: III-2).

11.1 Tujuan Pengaturan Pemberian Air

Sebelum dimulai suatu kegiatan pengaturan pemberian air, perlu ditetapkan terlebih dahulu dengan jelas apa tujuan yang akan dicapai dengan adanya pengaturan pemberian air tersebut, misalnya dapat berupa: kebutuhan air yang harus dipenuhi, keadilan pembagian air yang tersedia dan sebagainya. Selanjutnya perlu ditetapkan batas-batas penyimpangan terhadap keputusan yang telah ditetapkan, dalam pengaturan pemberian air yang masih dapat diterima oleh pengelola dan pemanfaat air (Anonim,1997:III-3).

Tujuan pengaturan pemberian air ialah untuk memberikan air:

1. Dalam jumlah yang tepat, misalnya pada besarnya, frekuensi, dan lamanya pengaliran yang tertentu.
2. Memperhitungkan kehilangan energi yang memadai.
3. Secara adil dan pada tempat yang sesuai, misalnya harus sampai ke petak paling ujung.
4. Dalam jangka waktu tertentu.
5. Dengan cara realistis dan terjamin.

11.2 Sistem Pemberian Air Irigasi

Seperti telah diuraikan di depan, bahwa tersedianya debit di sungai pada permulaan musim hujan tidak dapat langsung memenuhi kebutuhan air untuk suatu daerah irigasi, melainkan bergerak dari angka kecil sampai besar, bahkan akhirnya banjir (melebihi kebutuhan), dan kemudian menurun perlahan-lahan

yang akhirnya kecil kembali, dan tidak memenuhi kebutuhan air untuk daerah irigasi tersebut pada musim kemarau berikutnya.

11.3 Sistem Pemberian Air Secara Terus Menerus

Sistem pembagian air secara terus menerus ini dilakukan secara berkelanjutan sehingga tanaman sangat bergantung pada ketersediaan air. Hanya sekali-kali dikeringkan, yaitu pada akhir musim pertunasan.

11.4 Sistem Pemberian Air Secara Giliran

Sistem pemberian air secara rotasi adalah sistem pemberian air secara bergantian menurut bagian sawah atau blok tertentu dalam jadwal yang telah ditentukan sesuai dengan gilirannya. Pemberian sistem rotasi digunakan bila:

1. Persediaan air menurun kurang dari 50% debit rencana.
2. Bila persediaan air menurun hingga kurang dari 20% dari debit rencana.

11.5 Beberapa cara pemberian air irigasi di Indonesia

a. kondisi debit lebih besar dari 70% debit rencana air irigasi dari saluran primer dan sekunder dialirkan secara terus-menerus (*continous flow*) ke petak-petak tersier melalui pintu sadap tersier;

b . kondisi debit 50-70% dari debit rencana air irigasi dialirkan ke petak-petak tersier dilakukan dengan rotasi. Pelaksanaan rotasi dapat diatur antar sal sekunder misalnya jaringan irigasi mempunyai 2 (dua) saluran sekunder A dan sekunder B maka rotasi dilakukan selama 3 (tiga) hari air irigasi dialirkan ke sekunder A dan 3 (tiga) berikutnya ke sekunder B demikian seterusnya setiap 3 (tiga) hari dilakukan penggantian sampai suatu saat debitnya kembali normal; cara pemberian air terputus-putus (intermitten) dilaksanakan dalam rangka efisiensi penggunaan air pada jaringan irigasi yang mempunyai sumber air dari waduk atau dari sistem irigasi pompa, misalnya 1 (satu) minggu air waduk dialirkan ke jaringan irigasi dan 1 (satu) minggu kemudian waduknya ditutup demikian seterusnya sehingga setiap minggu mendapat air dan satu minggu kemudian tidak mendapat air.

OPTIMASI PEMBERIAN AIR IRIGA

Pembaca setelah mempelajari bab ini diharapkan dapat:

- Menjelaskan Formulasi Model Optimasi
- Menjelaskan Program Linier
- Menjelaskan SOLVER Pada MS Excell
- Menjelaskan Rencana Pembagian Air Irigasi
- Menjelaskan Sistem Pemberian Air Irigasi

12.1 Formulasi Model Optimasi

Dalam upaya optimalisasi pengelolaan sumberdaya air khususnya yang berkaitan dengan pembuatan model optimasi, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, diantaranya adalah seperti tersebut dibawah ini.

1. Pemilihan jenis model yang digunakan
2. Penyusunan suatu model dengan memperhatikan sifat dan karakteristik permasalahan yang dihadapi.
3. Penetapan berbagai variabel model yang sesuai dan cukup mewakili sistem yang sesungguhnya.

Dalam studi ini jenis model yang digunakan adalah Program Linier. Hal ini didasarkan pada pertimbangan bahwa Program Linier cukup sederhana baik dari segi formulasinya maupun tahap penyelesaian yang dilakukan, sehingga tidak membutuhkan tingkat pemecahan yang terlalu rumit. Hal ini akan sangat menghemat penggunaan memori dalam pemanfaatan perangkat komputer sebagai sarana pendukungnya. Disamping itu pemilihan Program Linier juga didasarkan pada studi bahwa Program Linier sudah terbukti cukup handal dan sangat banyak digunakan dalam pengembangan model optimasi pemanfaatan dalam bidang sumberdaya air, seperti optimasi operasional waduk, penentuan jadwal pelepasan air, dan lain sebagainya.

12.2 Program Linier

Program Linier adalah suatu teknik perencanaan yang bersifat analitis yang analisis-analisisnya memakai model matematika dengan tujuan mendapatkan beberapa kombinasi alternatif pemecahan masalah. Titik beratnya adalah pada alokasi optimal yang dipertimbangkan dari segala segi untung dan rugi secara baik, seimbang dan serasi. Artinya yang berdayaguna (efisien) dan berhasil guna (efektif).

Alokasi optimal tersebut tidak lain adalah memaksimalkan fungsi tujuan yang memenuhi persyaratan yang dikehendaki oleh kendala dalam bentuk pertidaksamaan linier.

Sistematika dari analisis-analisis dalam proses pengambilan keputusan dengan memakai program linier pada dasarnya mempunyai tiga tahap, yaitu:

1. Identifikasi persoalan.
2. Penyusunan model.
3. Analisis model/perhitungan.

12.2.1 Formulasi Program Linier

Secara umum formulasi model program linier adalah:

Fungsi tujuan:

Memaksimumkan/meminimumkan

$$Z = c1x1 + c2x2 + \ldots + cnxn \ldots \quad (2.15)$$

Kendala:

$$a_{11}X_{11} + a_{12}X_{12} + \ldots + a_{1n}X_{1n} \leq b_1$$
$$a_{21}X_{21} + a_{22}X_{22} + \ldots + a_{1n}X_{1n} \leq b_2$$
$$\vdots$$
$$a_{m1}X_{m1} + a_{m2}X_{m2} + \ldots + a_{mn}X_{mn} \leq b_m$$
$$x_j \geq 0 \text{ untuk } j = 1,2,3,\ldots,n$$

Persamaan diatas juga dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini:

Fungsi tujuan:

Memaksimumkan/meminimumkan

$$Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (2.16)$$

Kendala:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \quad b_j \quad \text{untuk } i = 1,2,3,\ldots,m \qquad (2.17)$$

dan

$x_j \quad 0$ untuk $j = 1,2,3,\ldots,n$

$$\sum_{j=1}^{n} d_{ij} x_j \quad e_j \quad \text{untuk } i = 1,2,3,\ldots,m \qquad (2.18)$$

dimana:

Z = fungsi tujuan

xj = variabel sasaran irigasi (luas areal irigasi/Ha)

aij,bi, = konstanta (Volume kebutuhan air irigasi dalam m3/Ha)

cj = harga satuan dari irigasi yang dikonversikan dalam bentuk luas

dij,ei, = konstanta (luas areal irigasi / Ha)

m = jumlah kendala

n = jumlah variabel keputusan

Fungsi tujuan dalam program linier ini mencerminkan atau menggambarkan tujuan yang akan dicapai dalam pemecahan suatu masalah program linier.

12.2.2 Penyelesaian Program Linier

Penyelesaian masalah optimasi dengan program linier dimulai dengan menentukan variabel-variabel keputusan yang hendak dicari nilai optimumnya, yang kemudian dibentuk fungsi tujuannya. Kemudian diidentifikasikan kendala-kendala yang dihadapi dan dinyatakan secara fungsional, berupa persamaan atau pertidaksamaan. Sesudah pemodelan selesai barulah dilakukan perhitungan atau iterasi untuk mencapai kondisi optimum.

Penyelesaian program linier yang memiliki jumlah variabel keputusan kurang dari atau sama dengan dua (n £ 2) maka dapat dipakai secara grafis. Sedangkan untuk persamaan yang memiliki jumlah variabel keputusan lebih dari dua (n ³ 2), maka penyelesaiannya harus menggunakan cara matematis/analitis.

Untuk sebagian besar permasalahan yang ada khususnya dalam bidang sumberdaya air biasanya memiliki variabel keputusan yang cukup banyak, dan cara penyelesaian yang tepat adalah dengan cara matematis/analitis. Saat ini sudah banyak program-program aplikasi komputer yang dikembangkan berdasarkan metode simpleks yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan program linier, diantaranya yaitu TORA, QS, QSB, dan lain sebagainya. Dalam studi ini meng-gunakan perangkat lunak yang ada yaitu fasilitas SOLVER dalam Microsoft Excell untuk menyelesaikan permasalahan program linier sesuai dengan permasalahan yang ada di lapangan.

12.3 SOLVER Pada MS Excell

Solver adalah fasilitas di dalam program Microsoft Excell pada Windows. Digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi. Solver digunakan untuk mencari solusi maksimum maupun minimum suatu permasalahan yang kita hadapi.

Solver menggunakan code optimasi non linier Generalized Redveed Gradien (GRG2) yang dikembangkan oleh Leon Lasdon doktor Universitas Texas di Austin, dan Allan Waren dari Cleveland State University. Pemecahan permasalahan pada Solver menggunakan metode algoritma Simplek dengan batasan pada variabelnya.

12.3.1 Penyelesaian Metode SOLVER

Solver merupakan fasilitas pencari solusi yang ada dalam perangkat lunak Microsoft Excell yang dikembangkan dari metode simplek. Apabila pada menu Microsoft Excell tidak terdapat fasilitas Solver, maka dapat di instal di Add-Ins yang ada di Microsoft Excell. Dalam perhitungan dengan Solver harus memenuhi tiga hal yaitu:

1. Target yang ingin dicapai
2. Kendala yang harus dipenuhi
3. Sel yang diubah-ubah isinya untuk ditentukan nilainya agar target dan kendala dipenuhi.

Langkah pertama yang diberikan yaitu menentukan nilai terkaan pada sel yang diubah tersebut. Solver akan melakukan proses coba dan salah berdasar nilai terkaan yang diberikan hingga akhirnya diperoleh solusi yang memenuhi tujuan dan kendala.

Tahap-tahap dalam menggunakan program Solver yaitu:

1. Tentukan nilai target atau tujuan.
2. Tentukan nilai kendala.
3. Masuk program Microsoft Excell.
4. Buat lembar kerja pada Microsoft Excell.
5. Pilih range.
6. Beri perintah insert, name, create.
7. Tandai kotak cek left coloum.
8. Pilih ok.
9. Nilai X1, X2, …., Xn diberi nilai terkaan coba-coba.
10. Tulis rumus tujuan dan kendala.
11. Beri perintah tools, Solver, kotak dialog tampil.

12. Isikan range target.
13. Pilih kotak teks by changing cells, masuk range yang akan diubah.
14. Masukkan nilai kendala, dengan memilih add, kotak dialog akan tampil dan akhiri dengan ok.
15. Pilih Solver (tekan enter).
16. Setelah melakukan perhitungan sejenak, Microsoft Excell akan menampilkan kotak dialog Solver result yang memberi tahu bahwa solusi telah ditemukan.
17. Pilih ok, selesai (nilai pada X1, X2 dan nilai tujuan akan berubah yang merupakan nilai solusi).

12.4 Rencana Pembagian Air Irigasi

Pemberian air irigasi yang paling sederhana berlandaskan pada penggenangan lahan, yaitu pemberian air yang tidak diatur ke lahan yang akan diairi dengan menyadap dari sungai. Perkembangan awal dibuat dengan membagi air secara proporsional yang mengkaitkan debit air dengan ukuran luas daerah yang dialiri.

Keadaan air pada musim hujan, air cukup tersedia bahkan bisa dikatakan berlebih, baik dari hujan effektif maupun debit sungai yang cukup besar maka pengaturan pemberian airnya dilakukan dengan cara terus menerus dengan memperhatikan air pembuangan pada saluran pembuang drainase yang baik. Cara terus menerus ini dilakukan jika ketersediaan air mencukupi atau melebihi dari kebutuhan dimana hal ini dapat berlangsung selama debit yang tersedia untuk mengairi petak tersebut lebih dari 75% (setinggi air normal) (Anonim, 1997 : III-2).

Keadaan air pada musim kemarau pada umumnya sangat dirasakan selalu kurang air. Maka perlu diatur pemberian airnya dengan cara giliran, baik giliran blok maupun giliran kelompok tersier. Cara giliran ini dilakukan apabila air disaluran tidak mencukupi kebutuhan (kurang dari 75%). Hal ini dimaksudkan agar pembagian air ke masing - masing petak dapat terbagi secara merata kwarter bagian hilir (Anonim,1997: III-2).

12.4.1 Tujuan Pengaturan Pemberian Air

Sebelum dimulai suatu kegiatan pengaturan pemberian air, perlu ditetapkan terlebih dahulu dengan jelas apa tujuan yang akan dicapai dengan adanya pengaturan pemberian air tersebut, misalnya dapat berupa: kebutuhan air yang harus dipenuhi, keadilan pembagian air yang tersedia dan sebagainya. Selanjutnya perlu ditetapkan batas-batas penyimpangan terhadap keputusan yang telah ditetapkan, dalam pengaturan pemberian air yang masih dapat diterima oleh pengelola dan pemanfaat air (Anonim,1997:III-3).

Tujuan pengaturan pemberian air ialah untuk memberikan air:

1. Dalam jumlah yang tepat, misalnya pada besarnya, frekuensi, dan lamanya pengaliran yang tertentu.
2. Memperhitungkan kehilangan energi yang memadai.
3. Secara adil dan pada tempat yang sesuai, misalnya harus sampai ke petak paling ujung.
4. Dalam jangka waktu tertentu.
5. Dengan cara realistis dan terjamin.

12.5 Sistem Pemberian Air Irigasi

Seperti telah diuraikan di depan, bahwa tersedianya debit di sungai pada permulaan musim hujan tidak dapat langsung memenuhi kebutuhan air untuk suatu daerah irigasi, melainkan bergerak dari angka kecil sampai besar, bahkan akhirnya banjir (melebihi kebutuhan), dan kemudian menurun perlahan–lahan yang akhirnya kecil kembali, dan tidak memenuhi kebutuhan air untuk daerah irigasi tersebut pada musim kemarau berikutnya.

12.5.1 Sistem Pemberian Air Secara Terus Menerus

Sistem pembagian air secara terus menerus ini dilakukan secara berkelanjutan sehingga tanaman sangat bergantung pada ketersediaan air. Hanya sekali-kali dikeringkan, yaitu pada akhir musim pertunasan.

12.5.2 Sistem Pemberian Air Secara Giliran

Sistem pemberian air secara rotasi adalah sistem pemberian air secara bergantian menurut bagian sawah atau blok tertentu dalam jadwal yang telah ditentukan sesuai dengan gilirannya. Pemberian sistem rotasi digunakan bila:

1. Persediaan air menurun kurang dari 50% debit rencana.
2. Bila persediaan air menurun hingga kurang dari 20% dari debit rencana.

Glossarium

B

Bendung Tetap: bangunan yang dipergunakan untuk meninggikan muka air di sungai sampai pada ketinggian yang diperlukan agar air dapat dialirkan ke saluran irigasi dan petak tersier, Ditinjau dari bahan yang dipergunakan, maka bendung tetap dapat dibagi menjadi : Bendung tetap permanen (misalnya beronjong dari beton, pasangan batu, beronjong dengan mantel); Bendung tetap semi permanen (Misalnya dari Beton, pasangan batu, beronjong dengan mantel); Bendung tetap tidak Permanen (Misalnya dari kayu, tumpukan batu).

Bendung Gerak: bangunan yang sebagian besar konstruksinya terdiri dari pintu yang dapat digerakan untuk mengatur ketinggian muka air di sungai

Bangunan Ukur Debit: bangunan ukur yang berfungsi untuk mengukur volume air persatuan waktu (m3/det atau 1/ det). jenis bangunan ukur debit yang diinventarisasi adalah: Bangunan Ukur Ambang lebar; Bangunan Ukur Romijin; Bangunan Ukur Crump de Gruyter; Bangunan Ukur Cipoletti; Bangunan Ukur Parshal Flume; Venturi Meter; Bangunan Ukur Thomson; DLL.

Bangunan Terjun: bangunan air yang berfungsi menurunkan muka air dan tinggi energi yang dipusatkan di satu tempat. Bangunan terjun ini bisa memiliki terjun tegak atau terjun miring

Bangunan Suplesi: bangunan yang berfungsi mengalirkan air dari saluran suplesi ke saluran pembawa atau ke sungai

Bangunan Skunder: saluran yang membawa air dari saluran primer ke petak-petak tersier yang dilayani oleh saluran skunder tersebut. Batas ujung saluran adalah pada bangunan sadap terakhir

Bangunan Sadap: bangunan air yang berfungsi mengalirkan air dari saluran primer atau skunder ke saluran tersier penerima

Bangunan Bagi: bangunan air yang terletak disaluran primer dan sekunder pada suatu titik cabang dan berfungsi untuk membagi aliran antara dua saluran atau lebih

Bangunan Pengatur Muka Air: bangunan yang berfungsi mengatur/mengontrol ketinggian muka air di saluran primer dan skunder sampai batas-batas yang diperlukan untuk dapat memberikan debit yang konstan kepada bangunan sadap tersier

Bangunan Pembilas: bangunan yang berfungsi untuk membilas sedimen pada kantong lumpur dan atau saluran tersier penerima

Bangunan Pelimpah: bangunan bangunan air yang terletak dihulu bangunan talang,siphon dan lain-lain,untuk keamanan jaringan. Bangunan bekerja otomatis dengan naiknya muka air

Bangunan Kantong Lumpur: bangunan yang berada di pangkal saluran induk, yang berfungsi untuk menampung dan mengendapkan lumpur,pasir, dan kerikil, supaya bahan endapan tersebut tidak terbawa saluran di hilirnya, Bangunan dibilas pada waktu-waktu tertentu

Bangunan Bagi Sadap: bangunan bagi yang mempunyai pintu sadap ke petak tersier

D

Debit: debit rencana maksimum dalam periode 1 tahun diambil dari perhitungan perencanaan debit maksimum yang masuk lewat intake dibangunan utama dan dari suplesi; Debit Kenyataan maksimum dalam periode 1 tahun diambil dari pengukuran dilapangan terhadap debit maksimum yang masuk melalui pintu intake dibangunan utama dan dari suplesi. Cara pengukuran debit bisa dilakukan dari perhitungan kecepatan air dengan mempergunakan pelampung.

Daerah Pengaliran Sungai: suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah dimana air meresap dan atau mengalir melalui sungai dan anak-anak sungai yang bersangkutan

Daerah Irigasi (D.I): kesatuan wilayah atau hamparan tanah yang mendapatkan air dari satu jaringan irigasi, terdiri dari : Areal (hamparan tanah yang akan diberi air); Bangunan Utama jaringan irigasi (saluran dan bangunannya).

G

Gorong-gorong pembawa: bangunan air yang dibangun ditempat-tempat dimana saluran pembawa lewat di bawah bangunan (jalan, rel kereta api dan lain-lain). Aliran air di gorong-gorong umumnya aliran bebas

J

Jaringan Irigasi: saluran bangunan yang merupakan satu kesatuan dan diperlukan untuk pengaturan air irigasi mulai dari :penyediaan, pengambilan, pembagian, pemberian dan penggunaan air irigasi beserta pembuanganya. Disamping itu jalan inspeksi juga merupakan bagiab dari jaringan irigasi.

Jaringan Irigasi Teknis: jaringan irigasi yang bangunan pengambilan dan bangunan bagi/sadap dilengkapi dengan alat pengatur pembagian air dan alat ukur, sehingga air air irigasi yang dialirkan dapat diatur dan diukur

Jaringan irigasi semi teknis: jaringan irigasi yang bangunan-bangunan dilengkapi dengan alat pengatur pembagian air irigasi dapat diatur tetapi tetapi tidak dapat diukur.

Jalan Irigasi sederhana: jaringan irigasi yang bangunan-bangunan tidak dilengkapi dengan alat pengukur pembagian air dan alat ukur, sehingga air irigasi tidak dapat diatur dan tidak dapat diukur dan umumnya bangunannya mempunyai konstruksi sesuai permanent/tidak permanent. Dalam penentuan tingkatan jaringan irigasi, ditentukan yang tingkatannya paling dominan.

Jalan Inspeksi: jalan yang digunakan untuk keperluan operasi dan pemeliharaan jaringan Irigasi

L

Luas Rencana (Luas Baku): luas bersih dari suatu daerah irigasi, yang berdasarkan perencanaan teknis dapat di airi oleh jaringan irigasi

P

Pompa: alat untuk menaikkan air sampai elevasi yang diperlukan secara mekanisme hidraulis melalui sistem pipa

Petak Tersier sudah dikembangkan: petak tersier dimana jaringan tersiernya sudah dibangun berdasarkan desain teknis. Dalam pengertian luas petak tersier yang sudah sudah dikembangkan sudah termasuk juga. Petak tersier yang jaringan tersiernya sudah di bangun walaupun tidak/belum berfungsi; Petak tersier yang jaringan tersiernya sudah di bangun tetapi sudah rusak.

Petak Tersier belum dikembangkan: petak tersier dimana jaringan tersiernya belum dibangun berdasarkan desain teknis. Termasuk dalam luas petak tersier yan gbelum dikembangkan adalah petak tersier jaringan tersiernya dibangun oleh masya-rakat Desa

Pengambilan Bebas: bangunan yang dibuat ditepi sungai yang mengalirkan air sungai ke dalam jaringan irigasi, tanpa mengatur tinggi muka air di sungai. Termasuk sebagai bagian dari pengambilan bebas ialah bangunan pengarah arus. Di Tinjau dari bahan yang dipergunakan, maka pengambilan bebas dapat di bagi pula menjadi tiga jenis seperti pada bendung tetap di atas.

R

Rencana tata tanaman: pengaturan pembagian areal yang akan ditanami beberapa jenis tanaman tertentu pada suatu daerah irigasi, berdasarkan tersedianya air pada waktu tertentu pula,Rencana Tata Tanam (tahun yang sedang berjalan) yang telah disyahkan Panitia Irigasi Terdiri dari : Masa Tanam(MT)I: Rencana tanam ke 1 pada musim penghujan; Masa Tanam (MT) II: Rencana tanam ke 2 pada musim kemarau; Masa Tanam (MT)III: Rencana tanam ke 3 pada musim kemarau.

S

Sungai: Sistem pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi pada kanan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan

Siphon: bangunan air yang dipakai untuk mengalirkan air irigasi dengan menggunakan grafitasi melalui bagian bawah saluran pembuang, cekung, anak sungai atau sungai. Siphon juga dipakai untuk melewati air di bawah jalan-jalan kereta api atau bangunan-bangunan yang lain. Siphon merupakan saluran tutup yang direncanakan untuk mengalirkan air secara penuh dan sangat dipengaruhi oleh tinggi tekan

Sawah Irigasi (Luas Sawah Fungsionil): sawah yang merupakan bagian dari luas potensial yang sumber airnya berasal dari saluran melalui sistem jaringan irigasi melalui sistem jaringan irigasi. Kolom tambak ikan yang mengambil air dari saluran irigasi adalah merupakan bagian dari luas sawah irigasi pada areal potensial. Khusus mengenai kolam ikan, ranting Dinas agar mencatatnya

Sawah Irigasi (Luas Sawah Fungsionil): sawah yang merupakan bagian dari luas potensial yang sumber airnya berasal dari saluran melalui sistem jaringan irigasi melalui sistem jaringan irigasi. Kolom tambak ikan yang mengambil air dari saluran irigasi adalah merupakan bagian dari luas sawah irigasi pada areal potensial. Khusus mengenai kolam ikan, ranting Dinas agar mencatatnya

Sawah: lahan usaha tani yang secara fisik rata dan mempunyai pematang serta ditanami padi dengan sistem genangan

Saluran tersier: saluran yang membawa air dari bangunan sadap tersier kedalam petak tersier

Saluran Suplesi yang Diinventarisasikan: saluran yang suplesi yang resmi atau saluran suplesi yang dibangun berdasarkan design

Saluran Suplesi: saluran yang berfungsi membawa/ mengalirkan air yang disuplesikan kesaluran pembawa atau ke sungai

Saluran Primer: saluran yang membawa air dari bangunan utama ke saluran sekunder dan petak-petak tersier diairi. Batas ujung saluramn primer adalah bangunan bagi yang terakhir

Saluran Pembuang: saluran yang berfungsi membuang kelebihan air. saluran Pembuang yang inventarisasi adalah saluran pembuang buatan dan saluran pembuang alam sekunder

T

Tingkatan Jaringan Irigasi: suatu jaringan irigasi hanya mengenal satu tingkatan sehingga dalam menentukan tingkatan jaringan, berdasarkan tingkatan yang paling dominan

Terowongan: Adalah saluran yang membawa air menembus bukit-bukit dan medan yang tinggi, yang pada tempat-tempat tertentu diperkuat dengan pasangan, Aliran di dalam terowongan adalah aliran bebas

Tata Air: susunan dan letak air, yaitu semua air yang terdapat di dalam dan atau berasal dari sumber-sumber air, baik yagn terdapat di atas maupun di bawah permukaan tanah (tidak termasuk dalam pengertian ini air terdapat di laut)

Tata Pengairan: Susunan dan letak sumber-sumber air dan atau bangunan-bangunan pengairan menurut ketentuan teknik pembinaannua di suatu wilayah pengairan tertentu

Talang: Bangunan air yang dipakai untuk mengalirkan air irigasi yang lewat di atas saluran lainnya, sungai atau cekungan, lembah-lembah dan jalan. Aliran di dalam talang adalah aliran bebas

W

Wilayah Sungai: kesatuan wilayah tata pengairan sebagai hasil pengembangan satu atau lebih daerah pengaliran sungai

Waduk: bangunan untuk menampung air pada waktu terjadi surplus air di sumber air agar dapat dipakai sewaktu-waktu terjadi kekurangan air, sehingga fungsi utama waduk adalah untuk mengatur sumber air. Yang termasuk jenis bangunan ini antara lain adalah: Waduk buatan/bendungan; Waduk lapangan (pengempangan mata air); Embung (sejenis waduk kecil di NTB); Situ (sejenis waduk kecil di jawa barat).

Index

A

aerasi 10, 12, 13, 48, 71

Aeroponik 80, 81

aquifer 48

atmosfer 21, 24, 25, 32, 35, 48, 49, 50

E

ekivalen 14, 15, 31, 32, 33

ETcrop 28, 29, 31, 38

eto 7, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 43, 49, 51, 52, 61, 71, 75, 78, 86, 136, 149, 150, 154

evaporasi 5, 26, 31, 32, 33, 37, 39, 43, 50, 51, 62, 69, 71, 81

F

formula 6, 7, 27, 29, 34, 35, 147

frekuensi 17, 63, 144, 152

G

gravitasi 12, 13, 15, 20, 49, 60, 62, 70, 79, 86, 92

groundwater 48

H

hidroponik 7, 51, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81

hidrostatis 12, 20

higroskopis 12, 13, 14, 16

I

impermeable 49

infiltrasi 6, 20, 23, 51, 52, 55, 58, 60, 61, 62, 63

inflow 61, 63

K

Kapasitas lapang 14, 15

kapiler 10, 12, 13, 14, 15, 20, 70

L

lahan 2, 7, 17, 22, 29, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 71, 74, 79, 90, 94, 96, 110, 125, 131, 139, 143, 144, 146, 149, 150, 151, 152, 158

lengas 2, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 28, 29, 30, 31, 37, 51, 64, 71, 78, 80

N

non-uniform flow 4

P

Penman 26, 33, 36

perkolasi 5, 6, 12, 15, 20, 42, 43, 45, 51, 62, 130

porositas 14, 78

porus 64, 75, 78, 79

primer 46, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 94, 95, 97, 101, 102, 103, 145, 155, 159

produktivitas 17, 22, 74

Psychrometer 34

R

radiasi 31, 32, 33, 35, 36, 37

reproduksi 19

S

saturation capacity 14

sekunder 46, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 94, 97, 100, 101, 102, 103, 145, 155, 159

subsoil 9, 17
substra 75, 78, 79, 80
suhu 2, 22, 27, 38, 78, 81
surface irrigation 51, 71

T

temperatur 29, 30, 31, 33, 34, 37, 74, 79, 81
tersier 44, 45, 46, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 95, 100, 101, 102, 103, 131, 138, 144, 145, 151, 154, 155, 157, 158, 159
titik layu 12, 14, 15, 16
topsoil 9
trase 83, 92, 93, 132, 133, 134, 137

U

unsteady 4, 54, 55, 56, 57

W

water holding capacity 15, 16
water table 48

Z

zone 48, 51, 59, 81

Daftar Pustaka

Anonim. (1977). *Pedoman Bercocok Tanam Padi, Palawija, Sayur-sayuran*. Badan Pengendali Bimas Departemen Pertanian. Jakarta

Anonim. (1986). *Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01, Kriteria Perencanaan Penunjang*. Ditjen. Pengairan Dep. PU Galang Persada. Bandung.

Anonim. (2009). *Laporan Kegiatan Alokasi Air DAS Amprong*. Unit Pengelolaan SDA Wilayah Sungai Bango Gedangan. Dinas PU Pengairan Provinsi Jawa Timur. Malang.

Asdak. (2007). *Hidrologi dan Pengeloalaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Eko Norhayati. (2015). *Metode Neraca Air DAS dengan Aplikasi Minitab.* BPFE Univesitas Islam Malang

Eko Noerhayati.,dan Sriharini (2016). *Hidrologi Terapan Aplikasi Pada Daerah Aliran Sungai.* Media Sutra Atiga

Fathan, N., dan Riman. (1997). *Analisis Operasi Pelayanan Pembagian Air Irigasi*. Media Teknik No. 4 Tahun XIX.

Gani, S. (2007). *Perencanaan Sistem Irigasi Rotasi untuk Penyaluran Air secara Proporsional.* Alami Vol. 12 No 1.

Guritno, B. (2011). *Pola Tanam di Lahan Kering*. Malang: UB Press.

Hanhan, A.S., Joko, T. dan Subari. (2010). *Pemberian Air Irigasi pada Budidaya Padi SRI di Musim Hujan dan Kemarau.* Jurnal Teknik Hidraulik, Vol 1 No. 2.

Hansen, V.E., D.W. Israelsen., dan G.E. Stringham. (1992). *Dasar-Dasar dan Praktek Irigasi*. Jakarta: Erlangga.

Montarcih, L., & Soetopo, W. 2009. *Pengantar Manajemen Teknik Sumber Daya Air*. Malang: CV Citra.

Montarcih, L. 2009. *Hidrologi Teknik Sumber Daya Air 1*. Malang: CV Citra.

Montarcih, L. 2010. *Hidrologi Praktis*. Bandung: CV Lubuk Agung.

Optimasi Penggunaan Lahan Pertanian dengan Program Linier, Agus Suharyono. *Jurnal Teknik Pengairan*, Vol 2 No.1 Mei 2011, Universitas Brawijaya Malang.

Optimasi Potensi dan Pola Pemenfaatan Air Irigasi, Amir Mahmud, *Jurnal Sumber Daya Insani* Universitas Muhammadiyah Kendari. Edisi Januari 2009 No.15.

Prabowo, S.H. 2008. *Studi Optimasi Pemanfaatan Air Irigasi pada Daerah Irigasi Kedungkandang Kabupaten Malang.* Skripsi: Universitas Brawijaya Malang.

Pemanasan dan Perubahan Iklim tanggal akses 1 Maret 2010.www.ofmpic.org/globalwarming/pdf/indonsian.pdf

Paramitha. Triatmodjo, B. (2010). *Hidrologi Terapan.* Cetakan kedua. Yogyakarta

Purba, J.H. (2011). *Kebutuhan dan Cara Pemberian Air Irigasi untuk Tanaman padi Sawah (Oryza sativa L.)*. WIDYATECH Jurnal Sains dan Teknologi Vol. 10 No. 3.

Rumaropen, N. (2012). *Studi Evaluasi kapasitas Pengaliran dan Pola Tata Guna Air pada Daerah Irigasi* Lereh Kabupaten Jayapura.

Soewarno. 1995. Hidrologi (Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data jilid I). Bandung: Nova.

Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. (1977). *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya

Warta: Beta Offset. *http://www.garutkab.go.id/download_files/article/ ATesis tidak dipubikasikan*. Universitas Brawijaya Malang.

LAMPIRAN

A. ANALISA CURAH HUJAN

1. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Uji konsistensi data adalah sebuah tahap perhitungan di mana data-data yang tersedia akan diuji keakuratannnya terlebih dahulu sebelum melakukan perhitungan curah hujan andalan dan curah hujan efektif. Dalam melakukan uji konsistensi data ini saya menggunakan metode Lengkung Massa Ganda untuk membandingkan antara nilai kumulatif curah hujan tahunan stasiun yang diuji dengan nilai kumulatif rerata curah hujan tahunan dari stasiun hujan yang ada disekitarnya.

Penelitian ini menggunakan data curah hujan sekunder selama 10 tahun, yaitu dari tahun 2005 sampai dengan 2014. Data tersebut sangat diperlukan sebagai dasar untuk dapat mengetahui rencana pola tanam yang dapat dijamin akan kebutuhan airnya sepanjang tahun. Hasil uji konsistensi data dapat dilihat pada tabel 1 sampai dengan tabel 3.

Tabel 1. Uji Konsistensi Data Stasiun Sumberpucung

Tahun	Stsn 1	Kumulatif Stsn 1	Curah Hujan di Stasiun Stsn 2	Stsn 3	Rerata Stsn 2 & 3	Kumulatif Rerata	XY		
	(2)	(3)	(4)	(5)					
2004	1991	1991	2413	2309	2361	2361	4700751	5574321	3964081
2005	1842	3833	2281	2234	2257.5	4618.5	17702710.5	21330542.25	14691889
2006	1643	5476	1354	2597	1975.5	6594	36108744	43480836	29986576
2007	1852	7328	3945	2627	3286	9880	72400640	97614400	53699584
2008	1846	9174	2587	2659	2623	12503	114702522	156325009	84162276
2009	1295	10469	1827	1893	1860	14363	150366247	206295769	109599961
2010	2756	13225	3352	4613	3982.5	18345.5	242619237.5	336557370.3	174900625
2011	1345	14570	1784	2089	1936.5	20282	295508740	411359524	212284900
2012	1578	16148	2084	2744	2414	22696	366495008	515108416	260757904
2013	2608	18756	3054	2991	3022.5	25718.5	482376186	661441242.3	351787536
2014	1968	20724	1446	2023	1734.5	27453	568935972	753667209	429484176
?		121694				164814.5	2351916758	3208754639	1725319508

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Kolom (2) adalah data jumlah curah hujan pada tahun 2004

Kolom (3) adalah kumulatif Stasiun 1, yaitu dengan contoh: nilai 1991 pada baris pertama kolom 3 sama dengan nilai pada baris pertama kolom 2, kemudian baris pertama pada kolom 3 dijumlahkan dengan baris ke dua pada kolom 2, dan seterusnya. Contoh: 1991 + 1842 = 3833 mm

Kolom (3) s/d (5) Jumlah data hujan dalam satu tahun, dicontohkan satu data hujan sebagai berikut:

Stasiun 1 tahun 2004:

CH = 283+283+365+148+60+10+0+0+35+4+161+642

= 1991 mm

Kolom (6) = $\frac{2413+2309}{2}$ = 2361mm

Kolom (7) = 2361 + 2257,5 = 4618,5 mm

Kolom (8) = Kumulatif stasiun 1 x Kumulatif rerata

= 1991 x 2361 = 4700751 mm^2

Kolom (9) = (Kumulatif rerata)^2

= 2361^2 = 5574321 mm^2

Kolom (10) = (Kumulatif stasiun 1)^2

= 1991^2 = 3964081 mm^2

Tabel 2. Uji Konsistensi Data Stasiun Kepanjen

Tahun	Stsn 2	Kumulatif Stsn 2	Curah Hujan di Stasiun Stsn 1	Stsn 3	Rerata Stsn 1 & 3	Kumulatif Rerata	XY		
		(3)	(4)	(5)			(8)		
2004	2413	2413	1991	2309	2150	2150	5187950	4622500	5822569
2005	2281	4694	1842	2234	2038	4188	19658472	17539344	22033636
2006	1354	6048	1643	2597	2120	6308	38150784	39790864	36578304
2007	3945	9993	1852	2627	2239.5	8547.5	85415167.5	73059756.25	99860049
2008	2587	12580	1846	2659	2252.5	10800	135864000	116640000	158256400
2009	1827	14407	1295	1893	1594	12394	178560358	153611236	207561649
2010	3352	17759	2756	4613	3684.5	16078.5	285538081.5	258518162.3	315382081
2011	1784	19543	1345	2089	1717	17795.5	347777456.5	316679820.3	381928849
2012	2084	21627	1578	2744	2161	19956.5	431599225.5	398261892.3	467727129
2013	3054	24681	2608	2991	2799.5	22756	561640836	517835536	609151761
2014	1446	26127	1968	2023	1995.5	24751.5	646682440.5	612636752.3	682620129
?		159872				145725.5	2736074772	2509195863	2986922556

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Kolom (2) adalah data jumlah curah hujan pada tahun 2004

Kolom (3) adalah kumulatif Stasiun 2, yaitu dengan contoh: nilai 2413 pada baris pertama kolom 3 sama dengan nilai pada baris pertama kolom 2, kemudian baris pertama pada kolom 3 dijumlahkan dengan baris ke dua pada kolom 2, dan seterusnya. Contoh: 2413 + 2281 = 4694 mm

Kolom (3) s/d (5) Jumlah data hujan dalam satu tahun, dicontohkan satu data hujan sebagai berikut:

Stasiun 1 tahun 2004:

CH = 239+333+375+162+66+15+9+0+40+46+357+771

= 2413 mm

Kolom (6) = $\frac{1991 + 2309}{2}$ = 2150mm

Kolom (7) = 2150 + 2038 = 4188 mm

Kolom (8) = Kumulatif stasiun 2 x Kumulatif rerata

= 2413 x 2150 = 5187950 mm^2

Kolom (9) = (Kumulatif rerata)^2

= 2150^2 = 4622500 mm^2

Kolom (10) = (Kumulatif stasiun 2)^2

= 2413^2 = 5822569 mm^2

Tabel 3. Uji Konsistensi Data Stasiun Pohgajih

Tahun	Stsn 3	Kumulatif Stsn 3	Curah Hujan di Stasiun		Rerata Stasiun 1 &2	Kumulatif Rerata	Xy		
			Stsn 1	Stsn 2					
	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)		
2004	2309	2309	1991	2413	2202	2202	5084418	4848804	5331481
2005	2234	4543	1842	2281	2061.5	4263.5	19369080.5	18177432.25	20638849
2006	2597	7140	1643	1354	1498.5	5762	41140680	33200644	50979600
2007	2627	9767	1852	3945	2898.5	8660.5	84587103.5	75004260.25	95394289
2008	2659	12426	1846	2587	2216.5	10877	135157602	118309129	154405476
2009	1893	14319	1295	1827	1561	12438	178099722	154703844	205033761
2010	4613	18932	2756	3352	3054	15492	293294544	240002064	358420624
2011	2089	21021	1345	1784	1564.5	17056.5	358544686.5	290924192.3	441882441
2012	2744	23765	1578	2084	1831	18887.5	448861437.5	356737656.3	564775225
2013	2991	26756	2608	3054	2831	21718.5	581100186	471693242.3	715883536
2014	2023	28779	1968	1446	1707	23425.5	674162464.5	548754050.3	828230841
?		169757				140783	2819401925	2312355319	3440976123

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Kolom (2) adalah data jumlah curah hujan pada tahun 2004

Kolom (3) adalah kumulatif Stasiun 3, yaitu dengan contoh: nilai 2309 pada baris pertama kolom 3 sama dengan nilai pada baris pertama kolom 2, kemudian baris pertama pada kolom 3 dijumlahkan dengan baris ke dua pada kolom 2, dan seterusnya. Contoh: 2234 + 2309 = 4543 mm

Kolom (3) s/d (5) Jumlah data hujan dalam satu tahun, dicontohkan satu data hujan sebagai berikut:

Stasiun 1 tahun 2004:

CH = 427+378+278+129+83+11+0+0+25+8+261+709

= 2309 mm

Kolom (6) = $\frac{1991 + 2413}{2}$ = 2202mm

Kolom (7) = 2061,5 + 2202 = 4263,5 mm

Kolom (8) = Kumulatif stasiun 3 x Kumulatif rerata

= 2301 x 2202 = 5084418 mm^2

Kolom (9) = $(\text{Kumulatif rerata})^2$

= 2202^2 = 4848804 mm^2

Kolom (10) = $(\text{Kumulatif stasiun 3})^2$

= 2301^2 = 5331481 mm^2

Dari hasil uji konsistensi pada tabel 1.1 sampai 1.3, maka terbentuk grafik perbandingan antara nilai kumulatif yang diuji dengan nilai kumulatif rerata yang dapat dilihat pada gambar 1. sampai dengan gambar 3.

Gambar 1. Grafik Hubungan Kumulatif Stasiun 2 dan 3

Gambar 2. Grafik Hubungan Kumulatif Stasiun 1 dan 3

Gambar 3. Grafik Hubungan Kumulatif Stasiun 1 dan 2

Dalam teori metode lengkung massa ganda dikatakan bahwa, dalam pengujian konsistensi data harus menggunakan per-bandingan antara hubungan kumulatif rerata stasiun yang akan diuji dengan koefisien determinasi yang menjadi tolak ukur. Dimana jika nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati angka 100%, maka data dapat dianggap baik atau konsisten. Begitu pula sebaliknya, jika nilai koefisien determinasi (R^2) semakin jauh dari angka 100% maka data perlu konsisten. Setelah melakukan uji konsistensi data menggunakan metode lengkung massa ganda, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) dari masing-masing stasiun sebagai berikut:

- Stasiun Sumberpucung, didapatkan nilai koefisien determinasi = 0,998%
- Stasiun Kepanjen, didapatkan nilai koefisien determinasi = 0,997%
- Stasiun Pohgajih, didapatkan nilai koefisien determinasi = 0,999%

Dari hasil uji konsistensi data di atas, maka didapatkan nilai koefisien determinasi rata-rata dari ketiga stasiun sebesar 0,998%. Maka dapat disimpulkan bahwasanya data dari masing-masing stasiun adalah konsisten dan dapat digunakan untuk melakukan analisa perhitungan curah hujan andalan.

2. Curah Hujan Andalan

Curah hujan andalan adalah curah hujan rerata daerah minimum yang sudah ditentukan dan dapat dipakai untuk keperluan irigasi. Curah hujan andalan digunakan untuk menentukan curah hujan efektif, dimana curah hujan efektif adalah curah hujan yang digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhan. Curah hujan andalan untuk tanaman padi ditetapkan sebesar 80% sedangkan untuk tanaman palawija sebesar 50%. Langkah-langkah dalam perhitungan curah hujan andalan yaitu:

1. Mengurutkan data curah hujan rerata daerah bulanan dari kecil ke besar.
2. Menentukan curah hujan andalan menggunakan rumus:
   - $R80 = \frac{n}{5} + 1$ (untuk keandalan sebesar 80%)
   - $R50 = \frac{n}{2} + 1$ (untuk keandalan sebesar 50%)

   Dicontohkan satu langkah perhitungan sebagai berikut:

$$R_{80} = \frac{10}{5} + 1 = 3$$

$$R_{50} = \frac{10}{2} + 1 = 6$$

Jadi, R_{80} berada pada kolom ke 3 yaitu tahun 2014 dan R_{50} berada pada kolom ke 6 yaitu tahun 2005. Data selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1.4. Ranking Data dari kecil ke Besar

Data Hujan			Rangking Data			Ket
NO	Tahun	CH (mm)	No	Tahun	CH (mm)	
1	2005	60,04	1	2009	46,44	
3	2007	78,00	3	2014	50,34	***R80***
4	2008	65,67	4	2006	51,80	
5	2009	46,44	5	2012	59,26	
6	2010	99,18	6	2005	60,04	***R50***
7	2011	48,31	7	2008	65,67	
8	2012	59,26	8	2007	78,00	
9	2013	79,19	9	2013	79,19	
10	2014	50,34	10	2010	99,18	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5. Data Curah Hujan Andalan Tahunan

Bln	Prd	Tahun										
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1	I	36,33	32,67	185,67	9,67	49,67	72,33	93,67	63,00	131,33	190,67	141,67
	II	77,00	111,00	113,00	32,33	39,00	68,67	88,67	46,00	118,00	68,33	110,33
	III	203,00	58,00	95,33	89,67	149,67	130,67	168,33	144,67	109,67	124,00	85,00
2	I	128,00	14,33	109,67	86,00	178,67	102,33	132,67	65,00	59,67	206,33	49,00
	II	72,33	253,00	93,67	107,33	60,33	194,67	198,00	105,33	152,33	130,33	16,00
	III	131,00	110,33	61,00	106,33	120,00	129,33	26,33	29,00	140,67	69,00	43,67
3	I	128,67	88,00	97,33	35,67	186,33	111,33	111,33	63,00	221,00	115,67	25,33
	II	136,00	23,67	154,33	50,33	177,67	3,33	80,33	16,67	95,00	52,00	133,33
	III	74,67	71,00	75,00	253,67	311,67	116,00	204,00	37,00	40,00	94,67	91,67
4	I	91,00	118,33	104,67	59,00	128,33	86,33	98,00	166,00	105,00	91,00	68,00
	II	28,67	123,00	138,33	102,33	75,67	45,67	108,00	82,33	61,00	84,67	89,00
	III	17,67	9,00	79,00	147,00	16,00	9,67	147,67	66,00	62,00	20,33	46,00
5	I	0,00	4,67	96,00	0,67	99,67	55,00	147,33	51,00	78,67	45,00	12,67
	II	0,00	0,00	4,00	79,00	7,67	74,67	99,33	72,00	42,33	75,00	20,67
	III	69,67	0,00	95,00	36,33	27,33	72,33	42,67	25,00	0,00	215,33	15,67
6	I	0,33	0,00	0,00	134,33	0,00	57,33	84,00	21,67	0,00	133,00	24,00
	II	11,67	27,33	0,00	1,00	22,00	0,00	160,00	0,00	5,33	54,33	19,00
	III	0,00	104,00	0,00	15,33	0,00	0,00	82,67	10,00	0,00	62,00	15,33
7	I	3,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,33	0,00	0,00	8,33	0,00
	II	0,00	3,67	0,00	20,67	0,00	0,00	3,67	0,00	0,00	13,33	4,33
	III	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,00	46,00	0,00	0,00	14,67	17,67
8	I	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
	II	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,33	0,00	0,00	0,00	0,00
	III	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,33	0,00	0,00	0,00	0,00
9	I	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0,67	42,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	II	33,33	0,00	0,00	0,00	0,00	29,00	150,33	1,00	1,33	0,00	0,00
	III	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	1,67	68,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	I	0,00	0,00	5,67	15,00	16,00	0,00	64,33	0,00	12,67	0,00	0,00
	II	0,00	88,67	0,00	11,33	42,00	0,00	44,00	16,67	36,00	12,67	0,00
	III	19,33	78,33	0,00	70,33	48,00	6,33	188,33	53,67	5,33	41,00	0,00
11	I	31,33	0,00	18,33	208,00	166,33	0,00	336,67	144,00	8,33	35,67	3,00
	II	9,00	58,33	12,67	55,00	149,67	49,00	34,00	73,33	32,00	175,67	166,00
	III	219,33	95,00	30,33	1,67	73,00	116,67	157,67	58,00	121,00	99,33	67,00
12	I	344,33	158,00	42,67	156,33	85,00	38,33	165,00	61,33	159,67	121,67	148,67
	II	96,67	263,33	133,33	137,67	46,67	0,00	31,00	84,33	211,33	267,33	159,00
	III	266,33	205,67	119,67	786,00	77,33	57,33	11,33	183,33	123,67	229,67	238,33

3. Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang dibutuhkan tanaman untuk proses pertumbuhannya. Apabila intensitas curah hujan yang turun rendah, maka jumlah air tersedia tidak mencukupi untuk pertumbuhan tanaman dan begitu pula sebaliknya, jika intensitas curah hujan yang turun tinggi, maka jumlah air yang tersedia cukup untuk pertumbuhan tanaman. Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman ditentukan per 10 tahun. Untuk tanaman padi, nilai curah hujan efektif dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\mathbf{Re = (0,7 \times R80)}$$

Sedangkan untuk tanaman palawija dan tebu, nilai curah hujan efektif dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mathbf{Re = R50}$$

Keterangan:

Re = R50

Re = curah hujan efektif (mm)

R80 = curah hujan rancangan probabilitas 80%

R50 = curah hujan rancangan probabilitas 50%

n = banyaknya pengamatan

Langkah-langkah dalam menentukan curah hujan efektif adalah:

1. Menentukan curah hujan andalan per 10 harian dalam tiap bulannya.
2. Menghitung curah hujan efektif dengan rumus:
   - Re = (0,7 x R80) untuk padi
   - Re = R50 untuk palawija

Tabel 6. Perhitungan Curah Hujan Efektif Tahunan

No	Bulan	Periode	? Hari	R_{80}	R_{50}	Curah Hujan Efektif			
						Re-Padi	Re-Padi	Re-Palawija	Re-Tebu
				(mm)	(mm)	(mm)	(mm/hari)	(mm/hari)	(mm/hari)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Januari	I	10	141,67	32,67	99,17	9,92	3,27	3,27
		II	10	110,33	111,00	77,23	7,72	11,10	11,10
		III	11	85,00	58,00	59,50	5,41	5,27	5,27
2	Februari	I	10	49,00	14,33	34,30	3,43	1,43	1,43
		II	10	16,00	253,00	11,20	1,12	25,30	25,30
		III	8	43,67	110,33	30,57	3,82	13,79	13,79
3	Maret	I	10	25,33	88,00	17,73	1,77	8,80	8,80
		II	10	133,33	23,67	93,33	9,33	2,37	2,37
		III	11	91,67	71,00	64,17	5,83	6,45	6,45
4	April	I	10	68,00	118,33	47,60	4,76	11,83	11,83
		II	10	89,00	123,00	62,30	6,23	12,30	12,30
		III	10	46,00	9,00	32,20	3,22	0,90	0,90
5	Mei	I	10	12,67	4,67	8,87	0,89	0,47	0,47
		II	10	20,67	0,00	14,47	1,45	0,00	0,00
		III	11	15,67	0,00	10,97	1,00	0,00	0,00
6	Juni	I	10	24,00	0,00	16,80	1,68	0,00	0,00
		II	10	19,00	27,33	13,30	1,33	2,73	2,73
		III	10	15,33	104,00	10,73	1,07	10,40	10,40
7	Juli	I	10	0,00	60,00	0,00	0,00	6,00	6,00
		II	10	4,33	3,67	3,03	0,30	0,37	0,37
		III	11	17,67	0,00	12,37	1,12	0,00	0,00
8	Agustus	I	10	2,00	0,00	1,40	0,14	0,00	0,00
		II	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		III	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	September	I	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		II	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		III	10	0,00	2,00	0,00	0,00	0,20	0,20
10	Oktober	I	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		II	10	0,00	88,67	0,00	0,00	8,87	8,87
		III	11	0,00	78,33	0,00	0,00	7,12	7,12
11	November	I	10	3,00	0,00	2,10	0,21	0,00	0,00
		II	10	166,00	58,33	116,20	11,62	5,83	5,83
		III	10	67,00	95,00	46,90	4,69	9,50	9,50
12	Desember	I	10	148,67	158,00	104,07	10,41	15,80	15,80
		II	10	159,00	263,33	111,30	11,13	26,33	26,33
		III	11	238,33	205,67	166,83	15,17	18,70	18,70

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Kolom 1 : Bulan

Kolom 2 : Periode

Kolom 3 : Jumlah hari (per sepuluh hari) dalam satu bulan

Kolom 4 : R_{80}, di dapatkan dari hasil R_{80} curah hujan andalan, yaitu data tahun 2014 bulan januari dan seterusnya. (mm)

Kolom 5 : R_{50}, di dapatkan dari hasil R_{50} curah hujan andalan, yaitu data

tahun 2005 bulan januari dan seterusnya. (mm)

Kolom 6 : $\frac{0,7}{141,67} = 99,17$ mm

Kolom 7 : $\frac{99,17}{10} = 9,917$ mm/hr $\longrightarrow$ 9,92 mm/hr

Kolom 8 : $\frac{32,67}{10} = 3,267$ mm/hr $\longrightarrow$ 3,27 mm/hr

Kolom 9 : $\frac{32,67}{10} = 3,267$ mm/hr $\longrightarrow$ 3,27 mm/hr

B. KEBUTUHAN AIR IRIGASI

Kebutuhan air irigasi adalah air yang pada umumnya diambil dari sungai atau waduk, yang kemudian dialirkan ke areal persawahan melalui sistem jaringan irigasi teknis maupun non-teknis untuk memenuhi kebutuhan air pada tanaman selama masa tanam. Faktor-faktor yang dapat menentukan besarnya kebutuhan air irigasi untuk tanaman adalah sebagai berikut:

1. Menghitung Evapotranspirasi Potensial
2. Menghitung penggunaan konsumtif tanaman
3. Memperkirakan laju perkolasi lahan yang dipakai
4. Memperkirakan kebutuhan air untuk penyiapan lahan
5. Menghitung kebutuhan air di sawah
6. Menentukan effisiensi irigasi
7. Menghitung kebutuhan air di bangunan pengambilan

1. Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi sangat erat kaitannya dengan kebutuhan air tanaman. Kebutuhan air tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan.

Dalam perhitungan nilai evapotranspirasi penelitian ini menggunakan metode penman modifikasi, dan data-data terukur yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- Suhu rerata bulanan (^oC)
- Kelembaban relatif bulanan rerata (RH⟶%)
- Kecerahan matahari bulanan ($\overline{n/N}$ ⟶%)
- Kecepatan angin bulanan rerata (U⟶m/dt)
- Letal lintang daerah
- Angka koreksi (^oC) menggunakan rumus *Penman*

Pada perhitungan evapotranspirasi potensial dalam penelitian ini dijabarkan sesuai dengan langkah pnnyelesaian perhitungan nilai evapotranspirasi yang di contohkan dengan menggunakan perhitungan untuk bulan januari, yaitu sebagai berikut:

1. Suhu bulanan rerata (t) = 25,740 ÚC
2. Kelembaban relatif bulanan rerata (RH) = 84,500 %
3. Kecerahan matahari bulanan rerata ($\overline{n/N}$) = 53,300 %
4. Kecepatan angin bulanan (U) = 5,240 m/dt
5. Radiasi gelombang pendek (R□) = 16,100 mm/hri (lihat pada tabel 2.4)
6. Tekanan uap jenuh (□□) = 33,710 mbar (lihat pada tabel 2.3)
7. Faktor suhu dan elevasi (W) = 0,752 (lihat pada tabel 2.3)
8. Fungsi suhu f(t) = □ * Ta^4, (diperoleh dari tabel 2.3 sebesar 15,825)
9. Faktor pembobot u dan RH yaitu (1-W) = 0,248
10. Tekanan uap sebenarnya (□d□□□adalah hasil perkalian dari tekanan uap jenuh dengan kelembaban relatif bulanan □d □□□□□□RH)

    □d= 33,710*0,845

    = 28,489 mbar
11. Perbedaan tekanan uap (□□-□d)= 33,710-28,489

    = 5,226 mbar ⟶ 5,23 mbar

12. Radiasi bersih gelombang pendek (Rs) = (0,25 + 0,54 n/N)x Ra Rs = (0,25 + 0,54*0,533)*16,100
    = 4,884 mm/hri
13. Fungsi tekanan uap f(ed) = 0,34 – 0,04*(ed)^{0,5} f(ed) = 0,34 – 0,04*(28,489)^{0,5}
    = 0,1265 mbar ⟶ 1,27 mbar
14. Fungsi kecerahan matahari f(n/N) = (0,1+0,9*n/N)
    = (0,1+0,9*0,533)
    = 0,580 %
15. Fungsi kecepatan angin f(u) = 0,27(1 + 0,864u)
    = 0,27*(1+0,864*5,240)
    = 2,6372,64 m/dt
16. Radiasi bersih gelombang panjang (Rn1) = f(t)*f(ed)*f(n/N)
    = 15,825*0,1265*0,5797
    = 1,160 mm/hr
17. Radiasi Matahari = (0,75 * 4,884) – 1,160
    = 2,793 mm/hr
18. Evaporasi potensial (ETo*) = W(0,75*(Rs-Rn1) + (1-W) f(u) (ea-ed)
    = 0,752(0,75*(4,884-1,160) + (0,248)*(2,637)*(0,5226)
    = 5,5178 mm/hr⟶5,518 mm/hr
19. Angka koreksi (c) diperoleh dari tabel koefisien evapotranspirasi penman sebesar 1,10
20. Evaporasi Potensial (ET) = c*ETo
    = 1,10*5,5178
    = 6,0695 mm/hr ⟶ 6,070 mm/hr

Hasil perhitungan evapotranspirasi potensial selanjutnya disajikan pada tabel 7 perhitungan evapotranspirasi metode penman modifikasi sebagai berikut:

Tabel. 4.7 P ETo*ungan Evapotranspirasi Merode Penman Modifikasi

No	URAIAN	RUMUS	SATUAN	BULAN											
				JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOV	DES
1	Suhu (t)	Data	(°C)	25,74	25,32	25,75	25,61	26,00	24,85	24,34	24,39	24,69	26,48	26,06	25,74
2	Kelembaban Relatif (RH)	Data	(%)	84,5	81,2	84,4	82,3	81,4	79,4	78,9	77,3	74,7	76,3	79,3	85
3	Lama Penyinaran (n/N)	Data	(%)	53,3	49	59,7	65,5	74	76,2	79,1	85,1	84,2	80,1	57,5	47,1
4	Kecepatan Angin (u)	Data	(m/dt)	5,24	4,59	4,08	3,21	2,96	3,53	4,64	4,41	4,2	4,13	3,44	3,32
5	Radiasi Gelombang Pendek (Rγ)	Tabel	(mm/ha)	16,1	16,1	15,1	14,1	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16	16
6	Tekanan Uap Jenuh (εγ)	Tabel	(mbar)	33,71	32,91	35,07	33,51	34,42	32,10	30,95	31,16	31,70	35,40	34,61	33,71
7	Tekanan Uap Sebenarnya (εd)	εγ * RH/100	(mbar)	28,49	26,72	29,60	27,58	28,02	25,48	24,42	24,08	23,68	27,01	27,45	28,66
8	Perbedaan Tekanan Uap (εγ–εd)	(εγ–εd)	(mbar)	5,23	6,19	5,47	5,93	6,40	6,61	6,53	7,07	8,02	8,39	7,16	5,06
9	Fungsi Angin, f(U)	0,27 * (1 + 0,864*U)		2,64	2,31	2,05	1,62	1,49	1,78	2,34	2,22	2,11	2,08	1,73	1,67
10	Faktor Pembobot u dan RH (W)	Tabel		0,248	0,252	0,248	0,249	0,245	0,256	0,262	0,261	0,258	0,24	0,264	0,248
11	Radiasi Bersih Gelombang Pendek (Rs)	(0,25 + 0,54 ((n/N)/100)Rγ	(mm/hr)	4,884	4,510	5,118	5,237	5,485	5,352	5,675	6,546	7,025	7,084	5,218	4,319
12	Fungsi Suhu, f(t)	Tabel		15,825	15,725	15,83	15,80	15,90	15,625	15,475	15,50	15,575	16,00	15,92	15,825
13	Fungsi Tekanan Uap, f(εd)	0,34 - 0,04*εd^0,5	(mbar)	0,127	0,133	0,122	0,130	0,128	0,138	0,142	0,144	0,145	0,132	0,130	0,126
14	Fungsi Kecerahan Matahari, f(n/N)	0,1 + 0,9 n/N		0,580	0,541	0,637	0,690	0,766	0,786	0,812	0,866	0,858	0,821	0,618	0,524
15	Radiasi Gelombang Panjang (Rn1)	f(t)*f(εd)*f(n/N)	(mm/hr)	1,160	1,133	1,234	1,416	1,562	1,695	1,788	1,929	1,942	1,735	1,282	1,044
16	Radiasi Matahari	0,75*Rs - Rnl	(mm/hr)	2,793	2,533	2,913	2,866	2,942	2,743	2,915	3,463	3,812	4,012	2,952	2,457
17	Faktor Pembobot untuk Rn (W)	Tabel		0,752	0,748	0,7525	0,751	0,755	0,744	0,738	0,739	0,742	0,760	0,736	0,752
18	Evaporasi (Eto*)	w (0,75 Rs - Rn1) + (1-w)*f(U)*(εγ–εd)	(mm/hr)	5,518	5,496	4,972	4,539	4,558	5,048	6,147	6,656	7,203	7,234	5,447	3,943
19	Angka Koreksi C	Tabel		1,10	1,10	1,00	1,00	0,95	0,95	1,00	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10
20	Evapotranspirasi Potensial	C.ET	(mm/hr)	6,070	6,046	4,972	4,539	4,330	4,795	6,147	6,656	7,923	7,958	5,992	4,338

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Kolom 1 = Uraian Keterangan

Kolom 2 = Rumus uraian

Kolom 3 = Satuan

Kolom 4 = Bulan

2. Perkolasi

Laju perkolasi sangat tergantung pada sifat-sifat tanah. Perkolasi terjadi pada saat lahan ditanami padi. Ketika lahan digenangi air terus menerus dan menyebabkan kondisi tanah menjadi jenuh maka, pergerakan air dalam lapisan tanah menuju arah vertikal dan horizontal. Pergerakan air kearah vertikal disebut perkolasi dan arah horizontal disebut rembesan. Rembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah. Untuk menentukan besarnya nilai perkolasi belum ada cara empiris yang ditemukan. Namun untuk wilayah Negara Indonesia diperkirakan nilainya berkisar antara 2 s/d 5 mm/hari.

Sehingga besarnya nilai porkolasi yang digunakan pada lokasi penelitian ini adalah 3 mm/hr, dilihat dari kondisi tanah yang merupakan tanah lempung.

3. Kebutuhan Air Untuk Pengolahan Lahan

Kebutuhan air dalam pengolahan lahan diperlukan untuk mendukung terciptanya kondisi tanah yang cukup lembab, guna proses persemaiannya tanaman. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan dapat ditentukan secara empiris yaitu sebesar 250 mm, yang meliputi kebutuhan untuk penyiapan lahan dan untuk lapisan air. Kebutuhan air untuk penjenuhan dan penggenangan lahan (S) diambil sebesar 300, perhitungan kebutuhan air dalam pengolahan lahan pada penelitian ini dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini, yaitu menggunakan contoh perhitungan bulan januari:

1. ETo = 1,10 * ET
   = 1,10 * 6,07
   = 6,68 mm/hr

2 . M = ETo + P

= 6,68 + 3

= 9,68 mm/hr

3. Jangka waktu proses pengolahan lahan (T) selama 31 hari

4. k = (M*T)/S

= (9,68 *31)/300

= 1,2

5. $RI = \frac{M \times e_k}{e^k - 1}$

$= \frac{9{,}68.e^{1,2}}{e_{1,2} - 1}$

= 13,848 mm/hr ⟶ 13,85 mm/hr

Hasil perhitungan kebutuhan air untuk pegolahan lahan pada bulan berikutnya disajikan pada tabel 4.18 dibawah ini:

Tabel 8. Perhitungan kebutuhan air untuk pengolahan lahan

No	Parameter	Satuan	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	ET	(mm/hari)	6,07	6,05	4,97	4,54	4,33	4,80	6,15	6,66	7,92	7,96	5,99	4,34
2	ETo = ET x 1.10	(mm/hari)	6,68	6,65	5,47	4,99	4,76	5,27	6,76	7,32	8,72	8,75	6,59	4,77
3	P	(mm/hari)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
4	M = Eo + P	(mm/hari)	9,68	9,65	8,47	7,99	7,76	8,27	9,76	10,32	11,72	11,75	9,59	7,77
5	T	hari	31	28	31	30	31	30	31	30	30	31	30	31
6	S	mm	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	k=M.T/S	-	1,2	1,081	1,05	0,959	0,963	0,993	1,21	1,239	1,406	1,457	1,151	0,964
8	$\frac{M \cdot T}{S}$	(mm/hari)	13,85	14,61	13,03	12,96	12,56	13,14	13,91	14,53	15,52	15,32	14,03	12,56

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

ET : Evapotranpirasi potensial (data dari hasil perhitungan Evapotranspirasi Potensial)

Eto : Evaporasi potensial

P : Perkolasi

M : Kebutuhan evaporasi dan perkolasi

T : Waktu pengolahan

S : Kebutuhan untuk penjenuhan lapisan atas

IR : Kebutuhan air untuk pengolahan lahan

4. Pergantian Lapisan Air (WLR)

Pergantian lapisan air sangat diperlukan guna mendukung proses pertumbuhan tanaman, yaitu setelah pemupukan perlu dijadwalkan dan mengganti lapisan air menurut kebutuhan. Tinggi genangan yang paling baik adalah kurang dari 5 cm, karena akan diperoleh produksi yang tinggi dan penggunaan air yang lebih efisien.

Penggantian lapisan air dapat dilakukan satu kali, yaitu pada saat tanaman berumur satu bulan setelah pemindahan tanaman, atau setelah transplantasi tanaman. Tinggi lapisan air yang direncanakan adalah sebesar 50 mm selama 30 hari. Perhitungan penggantian lapisan genangan adalah sebagai berikut : WLR = 50mm/30 hr = 1,667 mm/hr

Jadi pergantian lapisan air yang direncanakan pada penelitian ini adalah 1,667 mm/hr.

5. Netto Kebutuhan Air Lapang (NFR)

Netto Kebutuhan Air Lapang (*Net Field Requirement, NFR*) adalah Kebutuhan air yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan yang optimal pada suatu jaringan irigasi tanpa kekurangan air. Dalam mendukung proses pertumbuhan tanaman maka perlu ditentukan nilai netto kebutuhan air lapang (NFR), berikut ini perhitungan NFR:

NFR*pad* = Etc + P – Re + WLR

= 5,814 + 3 – 0,077 + 1,667

= 7,07 mm/hr

NFR*pol* = Etc + Re_{pol}

= 5,814 + 0,347

= 6,161 mm/hr

Jadi, kebutuhan air lapang (NFR) yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan yang optimal untuk tanaman padi adalah sebesar 7,07 mm/hr dan untuk tanaman palawija adalah 6,161 mm/hr.

6. Efisiensi Irigasi (EI)

Efisiensi irigasi adalah perbandingan antara jumlah air irigasi yang diperlukan tanaman dengan jumlah air yang sampai ke petak sawah atau areal persawahan. Nilai efisiensi irigasi dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 9. Efisiensi Irigasi

Jaringan	Efisiensi Irigasi (%)
Primer	80
Skunder	90
Tersier	90
Total EI	65

Sumber: Direktorat Jendral Pengairan. SPI bagian penunjang;1986

7. Kebutuhan Air di Pintu Pengambilan

Kebutuhan air dipintu pengambilan merupakan jumlah kebutuhan air di sawah dibagi dengan effisiensi irigasinya. Perhitungan nilai kebutuhan air pada pintu pengambilan menggunakan persamaan sebagai berikut:

DR = NFR / 8,64 x EI (10)

a. Nilai DR untuk tanaman padi:

DR = (7,07 / 8,64) x (0,65*10)

= (0,818*6,65)

= 5,317 l/dt/ha

b . Nilai DR untuk tanaman palawija:

DR = (6,161 / 8,64) x (0,65*10)

= (0,713*6,65)

= 4,741 l/dt/ha

DR = Kebutuhan air di pintu pengambilan (lt/dt/Ha)

NFR = Kebutuhan air di sawah (mm/hari)

EI = Efisiensi irigasi secara total (%)

1/8,64 = Angka konversi satuan dari mm/hari ke lt/dt/hari

8. Debit Andalan

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia sepanjang tahun dengan prosentase resiko kegagalan tertentu. Debit andalan juga bisa diartikan sebagai air yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan irigasi. Dalam menganalisis besarnya debit andalan pada penelitian ini menggunakan metode *basic year* atau metode tahun dasar perencanaan dengan keandalan sebesar 80%, artinya kemungkinan akan ada resiko debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 20%.

Langkah-langkah dalam menganalisa besarnya debit andalan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung total debit dalam satu tahun untuk tiap tahun data yang diketahui.
2. Merangkum atau mengurutkan data mulai dari yang besar ke kecil.
3. Menghitung probabilitas untuk masing-masing data dengan menggunakan persamaan *Weibull*. (Subarkah, 1980: 111)

Berikut proses dan hasil perhitungan debit andalan pada daerah irigasi Molek dengan menggunakan data 10 tahun terakhir:

1) Data pemasukan debit 10 tahun terakhir pada kondisi eksisting di lapangan dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 10. Pemasukan debit D.I. Molek per 10 hari (lt/det)

Bulan	Periode	Tahun									
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Jan	I	7564	7369	6752	6185	6937	6037	7175	7183	6308	6122
	II	6734	6699	6609	6934	7342	6342	7192	6474	6394	6127
	III	7523	7354	73386	7452	7451	7451	7190	7159	6543	6092
Feb	I	6733	7439	7331	7358	7293	7293	7195	6470	6266	5921
	II	7623	7333	7280	7653	7312	7321	7119	7187	6250	6090
	III	7386	7348	7226	7751	7203	7203	7234	7227	6262	6212
Mar	I	7487	7424	7210	7660	7026	7026	7190	6466	5943	6212
	II	7364	7460	7535	7613	7212	7212	7068	7183	6123	6000
	III	6773	7429	7403	7560	7205	7205	7135	7158	6082	6054
Apr	I	7373	7137	7300	7492	7252	7252	7180	7183	6272	5672
	II	7424	7420	7243	7481	7238	7238	7170	5191	6022	6078
	III	3359	6582	7604	7292	7194	7194	7205	5375	5742	6242
Mei	I	6660	7056	7449	7385	7097	7097	7179	4319	5566	5912
	II	7364	7090	7488	7442	7076	7076	7170	4328	5959	5962
	III	7149	7146	7742	7472	7108	7108	7205	3592	5742	6061
Jun	I	6483	7330	7532	7472	7103	7103	7179	4474	5730	6051
	II	7093	7205	7520	7416	6957	6957	7127	4483	6173	6021
	III	8506	7328	7612	7564	7110	7110	7085	4470	6189	5718
Jul	I	7248	7312	7637	7550	7051	7051	7068	4457	5697	5674
	II	7171	7187	7734	7338	6771	6771	7076	4457	6126	5972
	III	7239	7162	7723	7374	6166	6616	7062	4735	5692	5946
Agust	I	7136	6542	6732	7371	6374	6374	7178	4461	6253	5492
	II	7106	6479	6950	7368	6427	6427	7179	4493	6235	5724
	III	6983	6670	6439	7405	6408	6408	5839	4497	5956	5782
Sep	I	6570	6542	5887	7442	6400	6400	4311	4565	5482	5416
	II	6533	6583	5243	7314	6374	6379	4328	4249	5382	5859
	III	5778	6496	4937	5912	5980	5980	4336	4125	5343	5795
Okt	I	6612	6512	5263	5492	5970	5976	4332	4154	4636	5382
	II	6084	6224	6200	5316	6228	6228	4336	4150	4696	5409
	III	6110	6221	6482	5612	5909	5909	4606	4650	4259	5327
Nop	I	6115	6332	6993	6472	5910	5910	7149	4586	4267	5374
	II	6877	6254	6896	6592	6263	6263	7166	4601	4383	5376
	III	6771	6475	6660	7255	6214	6214	6457	4579	4445	5633
Des	I	7224	6470	7193	7208	6286	6286	7187	5108	5101	5195
	II	7511	6704	7319	6848	6045	6045	6500	5625	5335	5227
	III	7358	6989	6644	7069	6095	6095	7174	6369	5466	5609
Jumlah		249,02	249,30	317,15	256,12	241,99	240,56	238,28	189,78	204,32	208,74
Rata-rata		6,917	6,925	8,809	7,114	6,721	6,682	6,618	5,271	5,675	5,798

Sumber: UPTD. Pengairan Kepanjen

2) Mengurutkan data debit dari yang besar ke kecil dan menghitung probabilitas debit 80% dari tiap tahun sebagai dasar perhitungan besarnya debit andalan. Kemudian menghitung probabilitas debit 20% yang merupakan kemungkinan prosentase kegagalan debit yang lebih kecil dari debit andalan. Berikut hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.11. Data urut probabilitas debit 80%

NO	Q Terurut dari besar ke kecil	
	Q	Tahun
1	8,809	2007
2	7,114	2008
3	6,925	2006
4	6,917	2005
5	6,721	2009
6	6,682	2010
7	6,618	2011
8	5,798	2014
9	5,675	2013
10	5,271	2012

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Q = Rata-rata debit terurut dari besar ke kecil

Tahun = Tahun debit terurut dari besar ke kecil

Diambil dasar tahun perhitungan data tahun ke 8 dan ke 9 yang mendekati nilai P 80%, yaitu tahun 2014 dan tahun 2013.

$P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$

- Tahun ke 8

  Diketahui:

  m = 8, n = 10

$P = \frac{8}{10+1} \times 100\%$

$= 72{,}727\ \%$

- Tahun ke 9

  Diketahui: m

  = 9, n = 10

P = $\frac{9}{10+1}$ x 100%

= 81,818 %

Jadi, nilai probabilitas 80% terletak diantara data tahun ke 8 dan ke 9. Berikut adalah perhitungan besarnya probabilitas 80% diantara tahun 2013 dan 2014. Nilai probabilitas 80% dapat di ketahui dengan cara menggunakan interpolasi. Perhitungannya dicontohkan dengan menggunakan bulan januari periode 1 yaitu sebagai berikut:

A	X
B	Y
C	Z

72,727	6,122
80	?
81,818	6,308

Y = 6,122 + $\frac{80-72,727}{81,818-72,727}$ x (6,308 -6 ,122)

= 6,122 + (0,800027 x 0,186)

= 6,122 + 0,148805022

= 6,270805022 ⟶ 6,271 m^3/dtk

Perhitungan selanjutnya, dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 12. Probabilitas Debit andalan 80%

Bulan	Prd	Q Th 2014	Q Th 2013	Q Andalan
Januari	I	6,122	6,308	6,271
	II	6,127	6,394	6,341
	III	6,092	6,543	6,453
Februari	I	5,921	6,266	6,197
	II	6,090	6,25	6,218
	III	6,212	6,262	6,252
Maret	I	6,212	5,943	5,997
	II	6,000	6,123	6,098
	III	6,054	6,082	6,076
April	I	5,672	6,272	6,152
	II	6,078	6,022	6,033
	III	6,242	5,742	5,842
Mei	I	5,912	5,566	5,635
	II	5,962	5,959	5,960
	III	6,061	5,742	5,806
Juni	I	6,051	5,73	5,794
	II	6,021	6,173	6,143
	III	5,718	6,189	6,095
Juli	I	5,674	5,697	5,692
	II	5,972	6,126	6,095
	III	5,946	5,692	5,743
Agustus	I	5,492	6,253	6,101
	II	5,724	6,235	6,133
	III	5,782	5,956	5,921
September	I	5,416	5,482	5,469
	II	5,859	5,382	5,477
	III	5,795	5,343	5,433
Oktober	I	5,382	4,636	4,785
	II	5,409	4,696	4,839
	III	5,327	4,259	4,473
Nopember	I	5,374	4,267	4,488
	II	5,376	4,383	4,582
	III	5,633	4,445	4,683
Desember	I	5,195	5,101	5,120
	II	5,227	5,335	5,313
	III	5,609	5,466	5,495

Sumber: Hasil Perhitungan

Menentukan besarnya nilai probabilitas 20% yang merupakan kemungkinan akan terjadi resiko debit yang lebih kecil dari debit andalan. Berikut hasil perhitungannya pada tabel 22:

Tabel 13. Data urut probabilitas debit 20%

NO	Q Terurut dari besar ke kecil	
	Q	Tahun
1	8,809	2007
2	7,114	2008
3	6,925	2006
4	6,917	2005
5	6,721	2009
6	6,682	2010
7	6,618	2011
8	5,798	2014
9	5,675	2013
10	5,271	2012

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Q = Rata-rata debit terurut dari besar ke kecil

Tahun = Tahun debit terurut dari besar ke kecil

Diambil dasar tahun perhitungan data tahun ke 2 dan ke 3 yang mendekati nilai P 20%, yaitu tahun 2008 dan tahun 2006, perhitungannya sebagai berikut:

$P = \frac{m}{n+1} x$

100% - Tahun ke 2

Diketahui:

m = 2, n = 10

$P = \frac{2}{10+1} \times 100\%$

= 18,18 %

- Tahun ke 3

  Diketahui:

m = 3, n = 10

$P = \frac{3}{10+1} \times 100\%$

$= 27{,}27\ \%$

Interpolasi:

A	X
B	Y
C	Z

18,18	7,11
20	?
27,27	6,93

$$Y = 7{,}11 + \left(\frac{20-18{,}18}{27{,}27-18{,}18}\right) \times (6{,}93 - 7{,}11)$$

$= 7{,}11 + (0{,}20022 \times (-0{,}18))$

$= 7{,}11 + (-0{,}0360396)$

$= 7{,}0739604 \longrightarrow 7{,}074\ m^3/dtk$

Jadi, nilai probabilitas debit 20% terletak diantara tahun 2008 dan tahun 2006, besarnya nilai P 20% diketahui dengan cara *interpolasi*, dan di dapat nilai p 20% sebesar 7,074 .

3) Debit andalan 10 harian atau per sepuluh hari merupakan debit yang tersedia setiap 10 hari pada lokasi penelitian. Debit 10 harian digunakan untuk memprediksikan ketersediaan air yang akan di bagi ke saluran setiap 10 harinya. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 14. Perhitungan debit andalan per 10 hari D.I. Molek

No	Bulan	Periode	Peluang	Q	Log Q	(Log Q-Rata2 Log Q)	(Log Q-Rata2 Log Q)$_2$	(Log Q-Rata2 Log Q)$_3$
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Januari	I	2,703	6,271	0,797	0,044	0,002	0,0001
2		II	5,405	6,341	0,802	0,049	0,002	0,0001
3		III	8,108	6,453	0,810	0,056	0,003	0,0002
4	Februari	I	10,811	6,197	0,792	0,039	0,001	0,0001
5		II	13,514	6,218	0,794	0,040	0,002	0,0001
6		III	16,216	6,252	0,796	0,042	0,002	0,0001
7	Maret	I	18,919	5,997	0,778	0,024	0,001	0,0000
8		II	21,622	6,098	0,785	0,032	0,001	0,0000
9		III	24,324	6,076	0,784	0,030	0,001	0,0000
10	April	I	27,027	6,152	0,789	0,035	0,001	0,0000
11		II	29,730	6,033	0,781	0,027	0,001	0,0000
12		III	32,432	5,842	0,767	0,013	0,000	0,0000
13	Mei	I	35,135	5,635	0,751	-0,003	0,000	0,0000
14		II	37,838	5,960	0,775	0,022	0,000	0,0000
15		III	40,541	5,806	0,764	0,010	0,000	0,0000
16	Juni	I	43,243	5,794	0,763	0,009	0,000	0,0000
17		II	45,946	6,143	0,788	0,035	0,001	0,0000
18		III	48,649	6,095	0,785	0,031	0,001	0,0000
19	Juli	I	51,351	5,692	0,755	0,002	0,000	0,0000
20		II	54,054	6,095	0,785	0,031	0,001	0,0000
21		III	56,757	5,743	0,759	0,006	0,000	0,0000
22	Agustus	I	59,459	6,101	0,785	0,032	0,001	0,0000
23		II	62,162	6,133	0,788	0,034	0,001	0,0000
24		III	64,865	5,921	0,772	0,019	0,000	0,0000
25	September	I	67,568	5,469	0,738	-0,016	0,000	0,0000
26		II	70,270	5,477	0,739	-0,015	0,000	0,0000
27		III	72,973	5,433	0,735	-0,019	0,000	0,0000
28	Oktober	I	75,676	4,785	0,680	-0,074	0,005	-0,0004
29		II	78,378	4,839	0,685	-0,069	0,005	-0,0003
30		III	81,081	4,473	0,651	-0,103	0,011	-0,0011
31	November	I	83,784	4,488	0,652	-0,102	0,010	-0,0010
32		II	86,486	4,582	0,661	-0,093	0,009	-0,0008
33		III	89,189	4,683	0,670	-0,083	0,007	-0,0006
34	Desember	I	91,892	5,120	0,709	-0,044	0,002	-0,0001
35		II	94,595	5,313	0,725	-0,028	0,001	0,0000
36		III	97,297	5,495	0,740	-0,014	0,000	0,0000
Jumlah				205,204	27,130		0,074	-0,0035
Rata-rata Log Q					0,754			
Standar Devisiasi					0,04589			
Cs					-0,3608			

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Kolom 1 = Bulan

Kolom 2 = Periode

Kolom 3 = Peluang menggunakan rumus *Weibull*

$$(P = \frac{m}{n+1} \times 100\%)$$

$$P = x\ 100$$

$$= 2{,}7027 \longrightarrow 2{,}703\%$$

Kolom 4 = Merupakan data probabilitas debit andalan 80%

Kolom 5 = Log 6,271

= 0,797

Rerata Log Q = $\frac{\sum \log Q}{16}$

= 0,754

Kolom 6 = 0,797 - 0,754

= 0,044

Kolom 7 = $0{,}044^2$

= 0,00194 ⟶ 0,002

Kolom 8 = $0{,}044^3$

= 0,00008518 ⟶ 0,0001

C. KEBUTUHAN AIR IRIGASI BERDASARKAN DATA EKSISTING RENCANA TATA TANAM UPTD. PENGAIRAN KEPANJEN MUSIM HUJAN (MK) 2013/2014 DAN MUSIM KEMARAU (MK) 2013/2014.

Pola tata tanam daerah irigasi Molek Juru Sumberpucung adalah padi/palawija/tebu - padi/palawija/tebu – padi/palawija/ tebu, dimana modelnya adalah musim tanam I – musim tanam II – musim tanam III. Untuk perinciannya dapat dilihat sebagai berikut:

- Musim tanam 1/Musim Hujan 1

  Awal tanam pada bulan November minggu ke 2 dan ke 3 dengan rincian, untuk tanaman padi diambil 80%, palawija 10% dan tebu 10% dari total luasan juru Sumberpucung kiri dan kanan, yaitu:

Luas padi = $\frac{80}{100}$ x 1050ha

Luas Palawija = $\frac{10}{100}$ x 1050ha
= 105 Ha

Luas Tebu = $\frac{10}{100}$ x 1050ha
= 105 Ha

- Padi : 840 Ha
- Palawija (jagung) : 105 Ha
- Tebu : 105 Ha
- Musim tanam 2/Musim Kemarau 1

  Awal tanam pada bulan Maret minggu ke 2 dan ke 3 dengan rincian untuk tanaman padi diambil 60%, palawija 30% dan tebu 10% dari total luasan juru Sumberpucung kiri dan kanan, yaitu:

  Luas padi = $\frac{60}{100}$ x 1050ha
  = 630 Ha

  Luas Palawija = $\frac{30}{100}$ x 1050ha
  = 315 Ha

  Luas Tebu = $\frac{10}{100}$ x 1050ha
  = 105 Ha

- Padi : 630 Ha
- Palawija (jagung) : 315 Ha
- Tebu : 105 Ha
- Musim tanam 3/Musim Kemarau 2

  Awal tanam pada bulan Juli minggu ke 2 dan ke 3 dengan rincian untuk tanaman padi diambil 40%, palawija 50% dan tebu 10% dari total luasan juru Sumberpucung kiri dan kanan, yaitu:

  Luas padi = $\frac{40}{100}$ x 1050ha
  = 420 Ha

Luas Palawija = $\frac{50}{100}$ x 1050ha
= 525 Ha

Luas Tebu = $\frac{10}{100}$ x 1050ha
= 105 Ha

- Padi : 420 Ha
- Palawija (jagung) : 525 Ha
- Tebu : 105 Ha

1. Hasil Pengolahan Data Pola Tanam

Dari perhitungan pola tata tanam yang telah direncanakan akan dihasilkan berapa besar kebutuhan air di sawah untuk tiap jenis tanaman. Dari hasil perhitungan kebutuhan air di sawah tersebut kemudian dilakukan lagi perhitungan jumlah volume air yang dibutuhkan untuk tiap-tiap jenis tanaman dalan satu periode untuk tiap-tiap musim tanam. Dalam perencanaan pola tanam ini digunakan tiga alternatif pola tanam dengan rincian yang berbeda-beda dengan luasan yang akan didapatkan melalui hasil optimasi melalui program solver, namun rencana tata tanam yang digunakan yaitu:

1. Alternatif I : Padi/Tebu - Padi/Palawija/Tebu - Palawija
2. Alternatif II : Padi - Padi/Palawija - Palawija
3. Alternatif III : Padi/Tebu - Padi/Palawija/Tebu - Palawija / Tebu

2. Perhitungan Volume Kebutuhan Air Irigasi a.

Kebutuhan air irigasi PTT Eksisting

Dari tiap-tiap pola tanam di atas akan dianalisa kebutuhan air irigasinya. Perhitungan dari kebutuhan air irigasi di-contohkan dalam satu perhitungan kebutuhan air irigasi, yaitu sebagai berikut:

1. Koefisien tanaman dapat dilihat pada tabel 2.7. besarnya nilai koefisien tanaman adalah:
   - Padi = 1,10 ; PL ; PL
   - Palawija = 0,65 ; 0,5
   - Tebu = 0,55 ; 0,55 ; 0,55

2 . Rerata koefisien tanaman sebagai berikut:

- Padi $\longrightarrow \frac{1,10}{1} = 1,10$
- Palawija $\longrightarrow \frac{0,65 + 0,5}{2} = 0,575$
- Tebu $\longrightarrow \frac{0,55 + 0,55 + 0,55}{3} = 0,55$

3. Evapotranspirasi potensial = nilai ET ini dapat dilihat pada tabel 4.7 pada bulan November yaitu sebesar 5,9919 $\longrightarrow$ 5,9919 mm/hr
4. Penggunaan air konsumtif :
   - Padi $\longrightarrow$ 1,10*5,9919 = 6,5911 mm/hr
   - Palawija $\longrightarrow$ 0,575*5,9919 = 3,4453 mm/hr
   - Tebu $\longrightarrow$ 0,55*5,9919 = 3,2955 mm/hr
5. Rasio Luas PAK didapat dari PPT yang direncanakan, yaitu sebagai berikut: Padi (0,25), palawija (0,75) dan tebu (1,00)
6. Kebutuhan air tanaman:
   - Padi $\longrightarrow$ 6,5911*0,25 = 1,648 mm/hr
   - Palawija $\longrightarrow$ 3,4453*0,75 = 2,584 mm/hr
   - Tebu $\longrightarrow$ 3,2995*1 = 3,2995 mm/hr
7. Pengolahan Lahan (PL) = 14,02914~~,03~~ mm/hr (dilihat pada tabel 4.8, data bulan November)
8. Rasio PL : (1 – rasio luas PAK padi) => 1- 0,25 = 0,75
9. Kebutuhan air untuk PL: 0,75 * 14,029 = 10,522 mm/hr
   Nilai perkolasi di ambil 3,00.
10. Rasio perkolasi adalah 0,25
11. Perkolasi dengan rasio luas: 3,00 * 0,25 = 0,75
12. WLR (pergantian lapisan air) sebesar 1,667 mm/hr
13. Kebutuhan air untuk WLR: 0,25 * 1,667 = 0,417 mm/hr
14. Kebutuhan air kotor tanaman:
    - Padi $\longrightarrow$ 1,648 + 10,522 + 0,75 + 0,417 = 13,336 mm/hr
    - Palawija $\longrightarrow$ 2,584 mm/hr
    - Tebu $\longrightarrow$ 3,296 mm/hr

15. Curah hujan efektif dapat dilihat pada tabel 4.6. yaitu sebesar:
    - Padi ⟶ 4,69 mm/hr
    - Palawija ⟶ 9,50 mm/hr
    - Tebu ⟶ 9,50 mm/hr
16. NFR: Padi = 8,6463 mm/hr, palawija = 0 mm/hr, tebu = 0 mm/hr
17. Kebutuhan air tiap hektar:
    - Padi ⟶ 8,6463 * 0,116 = 1,003 mm/hr
    - Palawija ⟶ 0 * 0,116 = 0 mm/hr
    - Tebu ⟶ 0 * 0,116 = 0 mm/hr
18. Nilai efisiensi irigasi adalah 0,648%. (Direktorat Jendral Pengairan. SPI bagian penunjang; 1986)
19. Kebutuhan air di intake tanaman :
    - Padi ⟶ 1,003 / 0,648 = 1,5478 lt/dt/hr
    - Palawija ⟶ 0 / 0,648 = 0 lt/dt//hr
    - Tebu ⟶ 0 / 0,648 = 0 lt/dt/hr
20. Total Kebutuhan air irigasi: 1,5478 + 0 + 0 = 1,5478 m^3/dt

Untuk perhitungan pada bulan-bulan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 15 s/d 18 yang telah dilampirkan.

b. Volume air irigasi dari Q andalan

Volume air pada irigasi merupakan volume air dari Q andalan dalam satu tahun. Volume air dari Q andalan ini digunakan sebagai salah satu fungsi kendala yang akan diprogramkan pada program linier untuk melakukan optimasi pada pola tata tanam yang akan direncanakan. Hasil dari perhitungan volume irigasi dari Q andalan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 19. Volume Kebutuhan Air Irigasi

No	Bulan	Q Andalan	Volume Air dari Q Andalan* 10^6 (m3)		
		(m3/dt)	MT I	MT II	MT III
	1	2	3	4	5
1	Januari	6,271	5,4180		
		6,341	5,4783		
		6,453	5,5752		
2	Februari	6,197	5,3542		
		6,218	5,3724		
		6,252	5,4017		
3	Maret	5,997	5,1812		
		6,098	5,2690		
		6,076		5,2500	
4	April	6,152		5,3153	
		6,033		5,2127	
		5,842		5,0475	
5	Mei	5,635		4,8688	
		5,960		5,1491	
		5,806		5,0162	
6	Juni	5,794		5,0062	
		6,143		5,3072	
		6,095		5,2659	
7	Juli	5,692		4,9182	
		6,095		5,2663	
		5,743			4,9618
8	Agustus	6,101			5,2711
		6,133			5,2987
		5,921			5,1159
9	September	5,469			4,7250
		5,477			4,7325
		5,433			4,6945
10	Oktober	4,785			4,1344
		4,839			4,1806
		4,473			3,8643
11	Nopember	4,488			3,8780
		4,582			3,9585
		4,683	4,0458		
12	Desember	5,120	4,4235		
		5,313	4,5908		
		5,495	4,7473		
Jumlah			60,8574	61,6234	54,8153

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Kolom 1 = bulan

Kolom 2 = data Q andalan selama satu tahun. (tabel 12)

Kolom 3 = musim tanam pertama dengan perhitungan,

= (6,271*10*86400) / 1000000

= 5418144 / 1000000

= 5,418144 m^3/dt

Kolom 4 = musim tanam kedua dengan perhitungan,

= (6,076*10*86400) / 1000000

= 5249664 / 1000000

= 5,249664 $\longrightarrow$ 5,250 m^3/dt

Kolom 5 = musim tanam ketiga dengan perhitungan,

= (5,743*10*86400) / 1000000

= 49617792 / 1000000

= 4,9618 m^3/dt

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

c. Kebutuhan air irigasi saluran

Selanjutnya adalah perencanaan kebutuhan volume air irigasi pada setiap saluran sekunder dan saluran tersier pada daerah irigasi Molek Juru Sumberpucung yang sesuai dengan PTT yang telah di rencakan pada tabel 4.15 s/d 4.18. Model perencanaan ini dicontohkan dengan tabel perencanaan kebutuhan volume air irigasi pola tata tanam keadaan eksisting, untuk perencanaan kebutuhan air pola tata tanam alternatif I, II dan III telah dilampirkan dengan nomor tabel .21 s/d 23. Berikut contoh tabel 20 berikut:

Tabel 20. Perhitungan Volume Air Daerah Irigasi Molek Juru Sumberpucung

Bulan	Periode	Padi 1	Padi 23	Padi 43	Palawija 1	Palawija 23	Palawija 43	Tebu 1	Tebu 23	Tebu 43
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Januari	I	0,0000			0,5017			0,2844		
	II	0,2953			0,0000			0,0000		
	III	0,6734			0,0000			0,0340		
Februari	I	0,9873			0,4613			0,8257		
	II	1,0220			0,0000			0,0000		
	III	0,0000			0,0000			0,0000		
Maret	I	1,5659						0,0000		
	II					0,0000			0,5110	
	III		0,9137			0,0000			0,0000	
April	I		1,0247			0,0000			0,0000	
	II		0,6139			0,0000			0,0000	
	III		1,0781			0,5836			0,6920	
Mei	I		1,2926			0,6916			0,7303	
	II		1,1049			0,7286			0,8139	
	III		1,1724			0,6563			0,8139	
Juni	I		1,1090			0,5694			0,9013	
	II		1,1431			0,0129			0,4120	
	III		0,8886			0,0000			0,0000	
Juli	I		0,6641						0,0814	
	II		2,1713	2,1713			0,0719		1,0898	
	III			2,3634			0,4746			1,1554
Agustus	I			2,4623			0,7546			1,2511
	II			1,6096			0,9532			1,2511
	III			2,1461			1,0922			1,2511
September	I			2,0735			1,4183			1,4892
	II			2,0499			1,3332			1,4892
	III			2,0262			1,1650			1,4534
Oktober	I			1,9853			0,9449			1,4957
	II			1,9378			0,0000			0,0000
	III			1,4392			0,0000			0,2210
Nopember	I			0,0000						0,0000
	II			2,5114	0,0000			0,5899		
	III	1,5478			0,0000			0,0000		
Desember	I	0,0000			0,0000			0,0000		
	II	0,0000			0,0000			0,0000		
	III	0,0000			0,0000			0,0000		
Total	lt/dt/hr	6,092	13,176	24,776	0,963	3,242	8,208	1,734	6,046	11,057
Q 10 harian	m^3/dt/ha	0,006	0,013	0,025	0,001	0,003	0,008	0,002	0,006	0,011
Volume	m^3/ha	5263,155	11384,434	21406,558	832,104	2801,432	7091,726	1498,246	5223,381	9553,507

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

Kolom 1 : bulan

Kolom 2 : periode per 10 hari

Kolom 3 s/d 11 : merupakan hasil dari perhitungan tabel 4.15 s/d 4.18 yang disesuaikan dengan pola tanamnya.

Total : 1,548+0+0+0+0+0,295+0,673+0,967+1,022+ 0+1,566 = 6,092 lt/dt/hr

Q 10 harian : 6,092 / 1000 = 0,006 m^3/dt/ha

Volume : 0,006 * 0 * 86400 = 5263,155 m^3/ha

Hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel d iatas.

d. Rekapitulasi kebutuhan air irigasi

Dari tiap-tiap pola tata tanam yang kemudian dianalisa kebutuhan air irigasinya. Maka, hasil rekapitulasi dari analisis perhitungan kebutuhan air di atas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 21 Kebutuhan Air Irigasi

No	Pola Tanam	Periode / Masa	Volume Air (M3/Ha)		
			Padi	Palawija	Tebu
1	PTT Eksisting	I	5263,155	832,104	1498,246
		II	11384,434	2801,432	5223,381
		III	21406,558	7091,726	9553,507
2	PTT Alternatif I	I	5263,155	0,000	1498,246
		II	9577,502	2801,432	5223,381
		III	0,000	7091,726	0,000
3	PTT Alternatif II	I	5263,155	0,000	0,000
		II	9577,502	2790,306	0,000
		III	0,000	7091,726	0,000
4	PTT Alternatif III	I	5263,155	0,000	1498,246
		II	9577,502	2801,432	5223,381
		III	0,000	7091,726	9553,507

Sumber: Hasil Perhitungan

e. Neraca Air

Dari hasil rekapitulasi volume kebutuhan air irigasi di atas kemudian dibuat neraca airnya untuk membandingkan antara kebutuhan air irigasi dengan debit yang tersedia. Setelah itu dipilihlah alternatif yang mempunyai kekurangan air paling sedikit. Hasil dari neraca air dapat dilihat pada tabel 24 dan gambar 4 sebagai berikut:

Tabel 22 Rekapitulasi Neraca Air

Bulan	Periode	Q Tersedia	PTT Eksisting		PTT Alternatif I		PTT Alternatif II		PTT Alternatif III	
			Q keb	Q Lebih	Q keb	Q Lebih	Q Keb	Q Lebih	Q keb	Q Lebih
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Januari	I	6,2708	0,7862	5,4846	0,2844	5,9864	0,0000	6,2708	0,2844	5,9864
	II	6,3406	0,2953	6,0453	0,2953	6,0453	0,2953	6,0453	0,2953	6,0453
	III	6,4528	0,7074	5,7454	0,7074	5,7454	0,6734	5,7794	0,7074	5,7454
Februari	I	6,1970	2,2743	3,9227	1,8130	4,3840	0,9873	5,2097	1,8130	4,3840
	II	6,2180	1,0220	5,1960	1,0220	5,1960	1,0220	5,1960	1,0220	5,1960
	III	6,2520	0,0000	6,2520	0,0000	6,2520	0,0000	6,2520	0,0000	6,2520
Maret	I	5,9968	1,5659	4,4309	1,5659	4,4309	1,5659	4,4309	1,5659	4,4309
	II	6,0984	1,1723	4,9261	1,1723	4,9261	0,6613	5,4371	1,1723	4,9261
	III	6,0764	0,9137	5,1627	0,9137	5,1627	0,9137	5,1627	0,9137	5,1627
April	I	6,1520	1,0247	5,1273	1,0247	5,1273	1,0247	5,1273	1,0247	5,1273
	II	6,0332	0,6139	5,4193	0,6139	5,4193	0,6139	5,4193	0,6139	5,4193
	III	5,8420	2,3537	3,4883	2,3537	3,4883	1,6618	4,1802	2,3537	3,4883
Mei	I	5,6352	2,7146	2,9206	2,7146	2,9206	1,9842	3,6510	2,7146	2,9206
	II	5,9596	2,6474	3,3122	2,6474	3,3122	1,8335	4,1261	2,6474	3,3122
	III	5,8058	2,6426	3,1632	2,6426	3,1632	1,8287	3,9771	2,6426	3,1632
Juni	I	5,7942	2,5798	3,2144	2,5798	3,2144	1,6784	4,1158	2,5798	3,2144
	II	6,1426	1,5680	4,5746	1,5680	4,5746	1,1431	4,9995	1,5680	4,5746
	III	6,0948	0,8886	5,2062	0,8886	5,2062	0,8886	5,2062	0,8886	5,2062
Juli	I	5,6924	0,7455	4,9469	0,7455	4,9469	0,6641	5,0283	0,7455	4,9469
	II	6,0952	3,3330	2,7622	1,2417	4,8535	0,1519	5,9433	1,2417	4,8535
	III	5,7428	3,9934	1,7494	0,4746	5,2682	0,4746	5,2682	1,6300	4,1128
Agustus	I	6,1008	4,4680	1,6328	0,7546	5,3462	0,7546	5,3462	2,0057	4,0951
	II	6,1328	3,8139	2,3189	0,9532	5,1796	0,9532	5,1796	2,2043	3,9285
	III	5,9212	4,4895	1,4317	1,0922	4,8290	1,0922	4,8290	2,3433	3,5779
September	I	5,4688	4,9810	0,4878	1,4183	4,0505	1,4183	4,0505	2,9075	2,5613
	II	5,4774	4,8723	0,6051	1,3332	4,1442	1,3332	4,1442	2,8224	2,6550
	III	5,4334	4,6447	0,7887	1,1650	4,2684	1,1650	4,2684	2,6184	2,8150
Oktober	I	4,7852	4,4260	0,3592	0,9449	3,8403	0,9449	3,8403	2,4407	2,3445
	II	4,8386	1,9378	2,9008	0,0000	4,8386	0,0000	4,8386	0,0000	4,8386
	III	4,4726	1,6602	2,8124	0,0000	4,4726	0,0000	4,4726	0,2210	4,2516
Nopember	I	4,4884	0,0000	4,4884	0,0000	4,4884	0,0000	4,4884	0,0000	4,4884
	II	4,5816	3,1013	1,4803	3,1013	1,4803	2,5114	2,0702	3,1013	1,4803
	III	4,6826	1,5478	3,1348	1,5478	3,1348	1,5478	3,1348	1,5478	3,1348
Desember	I	5,1198	0,0000	5,1198	0,0000	5,1198	0,0000	5,1198	0,0000	5,1198
	II	5,3134	0,0000	5,3134	0,0000	5,3134	0,0000	5,3134	0,0000	5,3134
	III	5,4946	0,0000	5,4946	0,0000	5,4946	0,0000	5,4946	0,0000	5,4946

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan:

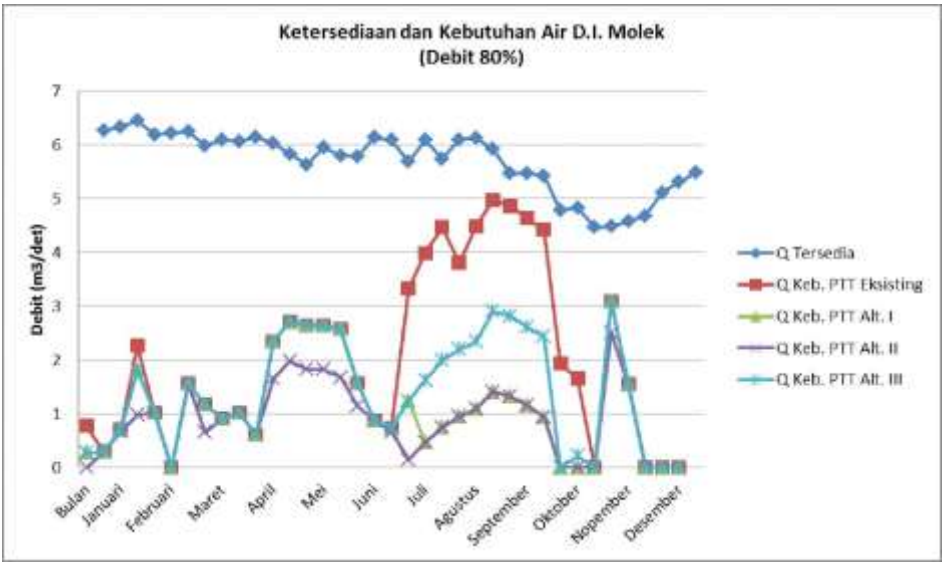
Kolom 1 = Bulan

Kolom 2 = Periode per 10 hari

Kolom 3 = Q tersedia diperoleh dari data analisa debit andalan

Kolom 4 = Nilai total kebutuhan air rigasi pada intake.

Perhitungannya telah dicontohkan pada tabel sebelumnya.



Gambar 4. Grafik Ketersediaan Air D.I. Molek dengan Debit 80%

D. MANFAAT IRIGASI

Optimasi pemanfaatan potensi air pada suatu periode tertentu akan didapat manfaat berupa hasil produksi pertanian. Manfaat bersih dari hasil produksi pertanian adalah harga jual produksi pertanian dengan semua biaya yang diperlukan untuk memproduksinya. Dengan membagi besar keuntungan bersih produksi pertanian dengan jumlah air yang dibutuhkan untuk proses produksi akan didapatkan manfaat bersih air irigasi tiap m^3. Manfaat bersih dari hasil produksi pertanian dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 23 Manfaat Bersih Irigasi Sawah per Hektar

No.	Keterangan	Padi			Palawija (Jagung)			Tebu		
		Kebutuhan / Hasil	Harga Rp	Total Rp	Kebutuhan / Hasil	Harga Rp	Total Rp	Kebutuhan / Hasil	Harga Rp	Total Rp
1	Benih / Bibit	40 Kg / Ha	4700 / Kg	188000	80 Kg / Ha	15.000 / Kg	1200000	80 kg / Ha	60.000/Kw	4800000
2	Pupuk									
	Urea	2 Kw / Ha	200.000/Kw	400000	6 Kw / Ha	200.000/Kw	1200000			
	TSP	1.33 Kw / Ha	115.000/Kw	152950	1 Kw / Ha	115.000/Kw	115000			
	KCL	1.33 Kw / Ha	230.000/Kw	305900	1 Kw / Ha	230.000/Kw	230000			
	ZA	1.33 Kw / Ha	140.000/Kw	186200	1 Kw / Ha	140.000/Kw	140000	8 Kw /Ha	140.000/Kw	1120000
	Phonska							2 Kw /Ha	230.000/Kw	460000
	Organik							2 Kw /Ha	50.000/Kw	100000
3	Tenaga									
	Manusia			540000						
	Hewan			525000						
4	Obat-obatan									
	Temik			175000						
	Desis									
5	Total Biaya Produksi			2473050			2885000			6480000
6	Hasil Produksi	6 ton/Ha	2.100.000/ton	12600000	5.5 ton/Ha	900.000 / ton	4950000	50 ton / ha	1.900.000/ton	95000000
7	Manfaat			Rp 10.126.950			Rp 2.065.000			Rp 88.520.000

Sumber: Hasil Perhitungan

E. DATA PROGRAM LINIER 1.

Analisa Model Matematika

Model matematika dalam program linier ini dibuat sesuai dengan fungsi sasaran yang ingin dicapai. Perumusan dalam analisa optimasi terdiri atas:

1. Fungsi sasaran, yaitu persamaan yang berisi variabel bebas yang akan dioptimumkan. Bentuk fungsinya adalah memaksimumkan keuntungan.

   Persamaan untuk fungsi sasaran adalah sebagai berikut:

$$Z = \sum_{n=1}^{n} Cn\ Xn$$

   Dengan:

   Z = Fungsi tujuan (keuntungan maksimum hasil pertanian) (Rp)

   Cn = Keuntungan/manfaat bersih irigasi sawah (Rp/Ha)

   Xn = Variabel sasaran irigasi (luas areal irigasi) (Ha)

   Perumusan fungsi sasaran dalam tiap-tiap periode dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 24 Fungsi Kendala Volume Air

Fungsi Tujuan Periode I
$Z = 10126950(\sum_{n=1}^{22} Xn) + 2065000(\sum_{n=23}^{22} Xn) + 88520000(\sum_{n=45}^{22} Xn)$
Fungsi Tujuan Periode II
$Z = 10126950(\sum_{n=67}^{22} Xn) + 2065000(\sum_{n=89}^{22} Xn) + 88520000(\sum_{n=111}^{22} Xn)$
Fungsi Tujuan Periode III
$Z = 10126950(\sum_{n=133}^{22} Xn) + 2065000(\sum_{n=155}^{22} Xn) + 88520000(\sum_{n=177}^{22} Xn)$

2 . Fungsi kendala, yaitu persamaan yang membatasi kegunaan utama. Batasan dalam studi ini yaitu besar volume debit dan luas lahan.

a. Fungsi kendala volume air irigasi

Kendala volume saluran untuk Daerah Irigasi Molek Juru Sumberpucung adalah sebesar :

- Periode I : 60.857×10^6
- Periode II : $61,623 \times 10^6$
- Periode III : $54,815 \times 10^6$

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.19.

Fungsi kendala volume air irigasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 25 Fungsi Kendala Volume Air Irigasi

1	**Pola Tanam Eksisting**
	$K1 = \left(5263{,}155 \times \sum_{n=1}^{22} Xn\right) + \left(832{,}104 \times \sum_{n=23}^{22} Xn\right) + \left(1498{,}246 \times \sum_{n=45}^{22} Xn\right) \leq 60{,}857 \times 10^6$
	$K2 = \left(11384{,}434 \times \sum_{n=67}^{22} Xn\right) + \left(2801{,}432 \times \sum_{n=89}^{22} Xn\right) + \left(5223{,}381 \times \sum_{n=111}^{22} Xn\right) \leq 61{,}623 \times 10^6$
	$K3 = \left(21406{,}558 \times \sum_{n=133}^{22} Xn\right) + \left(7091{,}726 \times \sum_{n=155}^{22} Xn\right) + \left(9553{,}507 \times \sum_{n=177}^{22} Xn\right) \leq 54{,}815 \times 10^6$
2	**Pola Tanam Alternatif I**
	$K4 = \left(5263{,}155 \times \sum_{n=1}^{22} Xn\right) + \left(0{,}000 \times \sum_{n=23}^{22} Xn\right) + \left(1498{,}246 \times \sum_{n=45}^{22} Xn\right) \leq 60{,}857 \times 10^6$
	$K5 = \left(9577{,}502 \times \sum_{n=67}^{22} Xn\right) + \left(2801{,}432 \times \sum_{n=89}^{22} Xn\right) + \left(5223{,}381 \times \sum_{n=111}^{22} Xn\right) \leq 61{,}623 \times 10^6$
	$K6 = \left(0{,}000 \times \sum_{n=133}^{22} Xn\right) + \left(7091{,}726 \times \sum_{n=155}^{22} Xn\right) + \left(0{,}000 \times \sum_{n=177}^{22} Xn\right) \leq 54{,}815 \times 10^6$

3	**Pola Tanam Alternatif II**
	$K7 = \left(5263{,}155 \times \sum_{n=1}^{22} Xn\right) + \left(0{,}000 \times \sum_{n=23}^{22} Xn\right) + \left(0{,}000 \times \sum_{n=45}^{22} Xn\right) \leq 60{,}857 \times 10^6$
	$K8 = \left(9577{,}502 \times \sum_{n=67}^{22} Xn\right) + \left(2790{,}306 \times \sum_{n=89}^{22} Xn\right) + \left(0{,}000 \times \sum_{n=111}^{22} Xn\right) \leq 61{,}623 \times 10^6$
	$K9 = \left(0{,}000 \times \sum_{n=133}^{22} Xn\right) + \left(7091{,}726 \times \sum_{n=155}^{22} Xn\right) + \left(0{,}000 \times \sum_{n=177}^{22} Xn\right) \leq 54{,}815 \times 10^6$
4	**Pola Tanam Alternatif III**
	$K10 = \left(5263{,}155 \times \sum_{n=1}^{22} Xn\right) + \left(0{,}000 \times \sum_{n=23}^{22} Xn\right) + \left(1498{,}246 \times \sum_{n=111}^{22} Xn\right) \leq 60{,}857 \times 10^6$
	$K11 = \left(9577{,}502 \times \sum_{n=67}^{22} Xn\right) + \left(2801{,}432x \sum_{n=89}^{22} Xn\right) + \left(5223{,}381 \times \sum_{n=111}^{22} Xn\right) \leq 61{,}623 \times 10^6$
	$K12 = \left(0{,}000 \times \sum_{n=133}^{22} Xn\right) + \left(7091{,}726 \times \sum_{n=155}^{22} Xn\right) + \left(9553{,}507 \times \sum_{n=177}^{22} Xn\right) \leq 54{,}815 \times 10^6$

b . Fungsi Kendala Luas lahan yang ditanami

Luasan total yang ada untuk Daerah Irigasi Molek Juru Sumber Pucung sebesar 1050 Ha. Persamaan fungsi kendalanya adalah sebagai berikut:

Keterangan	Fungsi Kendala Luas Tanam				
Musim Tanam I	K13 =>	X1+X23+X45	=	160	Ha
	K14 =>	X2+X24+X46	=	98	Ha
	K15 =>	X3+X25+X47	=	37	Ha
	K16 =>	X4+X26+X48	=	18	Ha
	K17 =>	X5+X27+X49	=	39	Ha
	K18 =>	X6+X28+X50	=	54	Ha
	K19 =>	X7+X29+X51	=	36	Ha
	K20 =>	X8+X30+X52	=	14	Ha
	K21 =>	X9+X31+X53	=	17	Ha
	K22 =>	X10+X32+X54	=	20	Ha
	K23 =>	X11+X33+X55	=	141	Ha
	K24 =>	X12+X34+X56	=	36	Ha
	K25 =>	X13+X35+X57	=	34	Ha
	K26 =>	X14+X36+X58	=	17	Ha
	K27 =>	X15+X37+X59	=	16	Ha
	K28 =>	X16+X38+X60	=	15	Ha
	K29 =>	X17+X39+X61	=	118	Ha
	K30 =>	X18+X40+X62	=	17	Ha
	K31 =>	X19+X41+X63	=	34	Ha
	K32 =>	X20+X42+X64	=	12	Ha
	K33 =>	X21+X43+X65	=	27	Ha
	K34 =>	X22+X44+X66	=	81	Ha

Musim Tanam II	K35 => X67+X89+X111	=	160	Ha
	K36 => X68+X90+X112	=	98	Ha
	K37 => X69+X91+X113	=	37	Ha
	K38 => X70+X92+X114	=	18	Ha
	K39 => X71+X93+X115	=	39	Ha
	K40 => X72+X94+X116	=	54	Ha
	K41 => X73+X95+X117	=	36	Ha
	K42 => X74+X96+X118	=	14	Ha
	K43 => X75+X97+X119	=	17	Ha
	K44 => X76+X98+X120	=	20	Ha
	K45 => X77+X99+X121	=	141	Ha
	K46 => X78+X100+X122	=	36	Ha
	K47 => X79+X101+X123	=	34	Ha
	K48 => X80+X102+X124	=	17	Ha
	K49 => X81+X103+X125	=	16	Ha
	K50 => X82+X104+X126	=	15	Ha
	K51 => X83+X105+X127	=	118	Ha
	K52 => X84+X106+X128	=	17	Ha
	K53 => X85+X107+X129	=	34	Ha
	K54 => X86+X108+X130	=	12	Ha
	K55 => X87+X109+X131	=	27	Ha
	K56 => X88+X110+X132	=	81	Ha

Musim Tanam III	K57 =>	X133+X155+X177	=	160	Ha
	K58 =>	X134+X156+X178	=	98	Ha
	K59 =>	X135+X157+X179	=	37	Ha
	K60 =>	X136+X158+X180	=	18	Ha
	K61 =>	X137+X159+X181	=	39	Ha
	K62 =>	X138+X160+X182	=	54	Ha
	K63 =>	X139+X161+X183	=	36	Ha
	K64 =>	X140+X162+X184	=	14	Ha
	K65 =>	X141+X163+X185	=	17	Ha
	K66 =>	X142+X164+X186	=	20	Ha
	K67 =>	X143+X165+X187	=	141	Ha
	K68 =>	X144+X166+X188	=	36	Ha
	K69 =>	X145+X167+X189	=	34	Ha
	K70 =>	X146+X168+X190	=	17	Ha
	K71 =>	X147+X169+X191	=	16	Ha
	K72 =>	X148+X170+X192	=	15	Ha
	K73 =>	X149+X171+X193	=	118	Ha
	K74 =>	X150+X172+X194	=	17	Ha
	K75 =>	X151+X173+X195	=	34	Ha
	K76 =>	X152+X174+X196	=	12	Ha
	K77 =>	X153+X175+X197	=	27	Ha
	K78 =>	X154+X176+X198	=	81	Ha

F. HASIL OPTIMASI

Setelah menentukan perumusan nilai-nilai fungsi kendala dan fungsi tujuan yang merupakan persyaratan dalam melakukan optimasi menggunakan program *solver* pada *Microsoft excel*. Tujuan dilakukannya optimasi ini adalah untuk mendapatkan hasil keuntungan yang maksimal dengan mempertimbangkan kondisi atau keadaan ketersediaannya volume air atau debit dan kebutuhan air tanaman. Berikut hasil dari optimasi program linier menggunakan fasilitas *solver* pada *microsoft excel*.

a. Optimasi pada Kondisi Eksisting

Hasli optimasi pada pada kondisi eksisting dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 26 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode I

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
padi	1	X1	144	K1	4525017	V1	60857395	F1	Rp 17.689.576.772
	2	X2	88	K2	160	V2	160		
	3	X3	17	K3	98	V3	98		
	4	X4	6	K4	37	V4	37		
	5	X5	31	K5	18	V5	18		
	6	X6	121	K6	39	V6	39		
	7	X7	36	K7	141	V7	141		
	8	X8	4	K8	54	V8	54		
	9	X9	2	K9	36	V9	36		
	10	X10	8	K10	14	V10	14		
	11	X11	17	K11	17	V11	17		
	12	X12	105	K12	20	V12	20		
	13	X13	30	K13	118	V13	118		
	14	X14	19	K14	36	V14	36		
	15	X15	12	K15	34	V15	34		
	16	X16	11	K16	17	V16	17		
	17	X17	12	K17	16	V17	16		
	18	X18	79	K18	15	V18	15		
	19	X19	14	K19	90	V19	90		
	20	X20	22	K20	17	V20	17		
	21	X21	9	K21	34	V21	34		
	22	X22	21	K22	12	V22	12		
palawija	1	X67	0	K23	27	V23	27		
	2	X68	0	K24	1050	V24	1050		
	3	X69	16	K25	16	V25	16		
	4	X70	10	K26	10	V26	9,8		
	5	X71	4	K27	4	V27	3,7		
	6	X72	6	K28	2	V28	1,8		
	7	X73	12	K29	4	V29	3,9		
	8	X74	28	K30	14	V30	14,1		
	9	X75	11	K31	5	V31	5,4		
	10	X76	7	K32	4	V32	3,6		
	11	X77	1	K33	1	V33	1,4		
	12	X78	2	K34	2	V34	1,7		
	13	X79	2	K35	2	V35	2		
	14	X80	12	K36	12	V36	11,8		
	15	X81	4	K37	4	V37	3,6		
	16	X82	3	K38	3	V38	3,4		
	17	X83	2	K39	2	V39	1,7		
	18	X84	2	K40	2	V40	1,6		
	19	X85	2	K41	2	V41	1,5		
	20	X86	9	K42	9	V42	9		
	21	X87	2	K43	2	V43	1,7		
	22	X88	3	K44	3	V44	2,55		

Tebu	1	X133	16	K45	1	V45	1,2		
	2	X134	10	K46	3	V46	2,7		
	3	X135	4	K47	16	V47	16		
	4	X136	2	K48	10	V48	9,8		
	5	X137	4	K49	4	V49	4,44		
	6	X138	14	K50	6	V50	5,76		
	7	X139	5	K51	12	V51	12,48		
	8	X140	4	K52	28	V52	28,2		
	9	X141	1	K53	11	V53	10,8		
	10	X142	2	K54	7	V54	7,2		
	11	X143	2	K55	1	V55	1,4		
	12	X144	12	K56	2	V56	1,7		
	13	X145	4	K57	2	V57	2		
	14	X146	3	K58	12	V58	11,8		
	15	X147	2	K59	4	V59	3,6		
	16	X148	2	K60	3	V60	3,4		
	17	X149	2	K61	2	V61	1,7		
	18	X150	9	K62	2	V62	1,6		
	19	X151	2	K63	2	V63	1,5		
	20	X152	3	K64	9	V64	9		
	21	X153	1	K65	2	V65	1,7		
	22	X154	3	K66	3	V66	3,4		

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini di dapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode I didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.17.689.576.772,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

Tabel 27 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 2

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
Padi	1	X23	144,0	K1	10637271	V1	61623418	F1	Rp 18.235.735.650
	2	X24	88,2	K2	160	V2	160		
	3	X25	33,3	K3	98	V3	98		
	4	X26	16,2	K4	37	V4	37		
	5	X27	35,1	K5	18	V5	18		
	6	X28	126,9	K6	39	V6	39		
	7	X29	48,6	K7	141	V7	141		
	8	X30	32,4	K8	54	V8	54		
	9	X31	12,6	K9	36	V9	36		
	10	X32	15,3	K10	14	V10	14		
	11	X33	18,0	K11	17	V11	17		
	12	X34	106,2	K12	20	V12	20		
	13	X35	32,4	K13	118	V13	118		
	14	X36	30,6	K14	36	V14	36		
	15	X37	15,3	K15	34	V15	34		
	16	X38	14,4	K16	17	V16	17		
	17	X39	7,5	K17	16	V17	16		
	18	X40	45,0	K18	15	V18	15		
	19	X41	8,5	K19	90	V19	90		
	20	X42	17,0	K20	17	V20	17		
	21	X43	6,0	K21	34	V21	34		
	22	X44	13,5	K22	12	V22	12		

P	1	X89	0,0	K23	27	V23	27		
a	2	X90	0,0	K24	1050	V24	1050		
l	3	X91	0,0	K25	16	V25	16		
a	4	X92	0,0	K26	10	V26	9,8		
w	5	X93	0,0	K27	4	V27	3,7		
i	6	X94	0,0	K28	2	V28	1,8		
j	7	X95	0,0	K29	4	V29	3,9		
a	8	X96	0,0	K30	14	V30	14,1		
	9	X97	0,0	K31	5	V31	5,4		
	10	X98	0,0	K32	4	V32	3,6		
	11	X99	0,0	K33	1	V33	1,4		
	12	X100	0,0	K34	2	V34	1,7		
	13	X101	0,0	K35	2	V35	2		
	14	X102	0,0	K36	12	V36	11,8		
	15	X103	0,0	K37	4	V37	3,6		
	16	X104	0,0	K38	3	V38	3,4		
	17	X105	6,0	K39	2	V39	1,7		
	18	X106	36,0	K40	2	V40	1,6		
	19	X107	6,8	K41	2	V41	1,5		
	20	X108	13,6	K42	9	V42	9		
	21	X109	4,8	K43	2	V43	1,7		
	22	X110	10,8	K44	3	V44	3,4		
T	1	X155	16,0	K45	1	V45	1,2		
e	2	X156	9,8	K46	3	V46	2,7		
b	3	X157	3,7	K47	6	V47	6		
u	4	X158	1,8	K48	36	V48	36		
	5	X159	3,9	K49	7	V49	6,8		
	6	X160	14,1	K50	14	V50	13,6		
	7	X161	5,4	K51	5	V51	4,8		
	8	X162	3,6	K52	11	V52	10,8		
	9	X163	1,4						
	10	X164	1,7						
	11	X165	2,0						
	12	X166	11,8						
	13	X167	3,6						
	14	X168	3,4						
	15	X169	1,7						
	16	X170	1,6						
	17	X171	1,5						
	18	X172	9,0						
	19	X173	1,7						
	20	X174	3,4						
	21	X175	1,2						
	22	X176	2,7						

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini didapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 2 didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.18.235.735.650,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

Tabel 4.28. Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 3

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
padi	1	X45	80,0	K1	15443397	V1	54815270	F1	Rp 15.604.315.170
	2	X46	49,0	K2	160	V2	160		
	3	X47	18,5	K3	98	V3	98		
	4	X48	9,0	K4	37	V4	37		
	5	X49	19,5	K5	18	V5	18		
	6	X50	70,5	K6	39	V6	39		
	7	X51	27,0	K7	141	V7	141		
	8	X52	18,0	K8	54	V8	54		
	9	X53	7,0	K9	36	V9	36		
	10	X54	8,5	K10	14	V10	14		
	11	X55	10,0	K11	17	V11	17		
	12	X56	59,0	K12	20	V12	20		
	13	X57	18,0	K13	118	V13	118		
	14	X58	17,0	K14	36	V14	36		
	15	X59	8,5	K15	34	V15	34		
	16	X60	8,0	K16	17	V16	17		
	17	X61	7,5	K17	16	V17	16		
	18	X62	45,0	K18	15	V18	15		
	19	X63	8,5	K19	90	V19	90		
	20	X64	17,0	K20	17	V20	17		
	21	X65	10,8	K21	34	V21	34		
	22	X66	24,3	K22	12	V22	12		
palawija	1	X111	64,0	K23	27	V23	27		
	2	X112	39,2	K24	1050	V24	1050		
	3	X113	14,8	K25	64	V25	64		
	4	X114	7,2	K26	39	V26	39,2		
	5	X115	15,6	K27	15	V27	14,8		
	6	X116	56,4	K28	7	V28	7,2		
	7	X117	21,6	K29	16	V29	15,6		
	8	X118	14,4	K30	56	V30	56,4		
	9	X119	5,6	K31	22	V31	21,6		
	10	X120	6,8	K32	14	V32	14,4		
	11	X121	8,0	K33	6	V33	5,6		
	12	X122	47,2	K34	7	V34	6,8		
	13	X123	14,4	K35	8	V35	8		
	14	X124	13,6	K36	47	V36	47,2		
	15	X125	6,8	K37	14	V37	14,4		
	16	X126	6,4	K38	14	V38	13,6		
	17	X127	6,0	K39	7	V39	6,8		
	18	X128	36,0	K40	6	V40	6,4		
	19	X129	6,8	K41	6	V41	6		
	20	X130	13,6	K42	36	V42	36		
	21	X131	0,0	K43	7	V43	6,8		
	22	X132	0,0	K44	14	V44	13,6		

T	1	X177	16,0	**K45**	16	**V45**	16		
e	2	X178	9,8	**K46**	10	**V46**	9,8		
b	3	X179	3,7	**K47**	4	**V47**	3,7		
u	4	X180	1,8	**K48**	2	**V48**	1,8		
	5	X181	3,9	**K49**	4	**V49**	3,9		
	6	X182	14,1	**K50**	14	**V50**	14,1		
	7	X183	5,4	**K51**	5	**V51**	5,4		
	8	X184	3,6	**K52**	4	**V52**	3,6		
	9	X185	1,4	**K53**	1	**V53**	1,4		
	10	X186	1,7	**K54**	2	**V54**	1,7		
	11	X187	2,0	**K55**	2	**V55**	2		
	12	X188	11,8	**K56**	12	**V56**	11,8		
	13	X189	3,6	**K57**	4	**V57**	3,6		
	14	X190	3,4	**K58**	3	**V58**	3,4		
	15	X191	1,7	**K59**	2	**V59**	1,7		
	16	X192	1,6	**K60**	2	**V60**	1,6		
	17	X193	1,5	**K61**	2	**V61**	1,5		
	18	X194	9,0	**K62**	9	**V62**	9		
	19	X195	1,7	**K63**	2	**V63**	1,7		
	20	X196	3,4	**K64**	3	**V64**	3,4		
	21	X197	1,2	**K65**	1	**V65**	1,2		
	22	X198	2,7	**K66**	3	**V66**	2,7		

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini didapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 2 didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.15.604.315.170,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

b. Optimasi pada PTT Alternatif 1

Hasli optimasi pada pada kondisi eksisting dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 29 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode I

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
padi	1	X1	144	K1	5003103,017	V1	60857395	F1	Rp 18.864.567.750
	2	X2	88	K2	160	V2	160		
	3	X3	33	K3	98	V3	98		
	4	X4	16	K4	37	V4	37		
	5	X5	35	K5	18	V5	18		
	6	X6	127	K6	39	V6	39		
	7	X7	49	K7	141	V7	141		
	8	X8	32	K8	54	V8	54		
	9	X9	13	K9	36	V9	36		
	10	X10	15	K10	14	V10	14		
	11	X11	18	K11	17	V11	17		
	12	X12	106	K12	20	V12	20		
	13	X13	32	K13	118	V13	118		
	14	X14	31	K14	36	V14	36		
	15	X15	15	K15	34	V15	34		
	16	X16	14	K16	17	V16	17		
	17	X17	14	K17	16	V17	16		
	18	X18	81	K18	15	V18	15		
	19	X19	15	K19	90	V19	90		
	20	X20	31	K20	17	V20	17		
	21	X21	11	K21	34	V21	34		
	22	X22	24	K22	12	V22	12		
palawija	1	X67	0	K23	27	V23	27		
	2	X68	0	K24	1050	V24	1050		
	3	X69	0	K25	16	V25	16		
	4	X70	0	K26	10	V26	9,8		
	5	X71	0	K27	4	V27	3,7		
	6	X72	0	K28	2	V28	1,8		
	7	X73	0	K29	4	V29	3,9		
	8	X74	0	K30	14	V30	14,1		
	9	X75	0	K31	5	V31	5,4		
	10	X76	0	K32	4	V32	3,6		
	11	X77	0	K33	1	V33	1,4		
	12	X78	0	K34	2	V34	1,7		
	13	X79	0	K35	2	V35	2		
	14	X80	0	K36	12	V36	11,8		
	15	X81	0	K37	4	V37	3,6		
	16	X82	0	K38	3	V38	3,4		
	17	X83	0	K39	2	V39	1,7		
	18	X84	0	K40	2	V40	1,6		
	19	X85	0	K41	2	V41	1,5		
	20	X86	0	K42	9	V42	9		
	21	X87	0	K43	2	V43	1,7		
	22	X88	0	K44	3	V44	3,4		

T e b u	1	**X133**	16	**K45**	1	**V45**	1,2		
	2	**X134**	10	**K46**	3	**V46**	2,7		
	3	**X135**	4						
	4	**X136**	2						
	5	**X137**	4						
	6	**X138**	14						
	7	**X139**	5						
	8	**X140**	4						
	9	**X141**	1						
	10	**X142**	2						
	11	**X143**	2						
	12	**X144**	12						
	13	**X145**	4						
	14	**X146**	3						
	15	**X147**	2						
	16	**X148**	2						
	17	**X149**	2						
	18	**X150**	9						
	19	**X151**	2						
	20	**X152**	3						
	21	**X153**	1						
	22	**X154**	3						

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini di dapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 1 Altenatif I didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.18.864.567.750,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

Tabel 30 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 2

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
padi	1	X23	144,0	K1	9355256	V1	61623417,6	F1	Rp 18.574.337.550
	2	X24	88,2	K2	160	V2	160		
	3	X25	33,3	K3	98	V3	98		
	4	X26	16,2	K4	37	V4	37		
	5	X27	35,1	K5	18	V5	18		
	6	X28	126,9	K6	39	V6	39		
	7	X29	48,6	K7	141	V7	141		
	8	X30	32,4	K8	54	V8	54		
	9	X31	12,6	K9	36	V9	36		
	10	X32	15,3	K10	14	V10	14		
	11	X33	18,0	K11	17	V11	17		
	12	X34	106,2	K12	20	V12	20		
	13	X35	32,4	K13	118	V13	118		
	14	X36	30,6	K14	36	V14	36		
	15	X37	15,3	K15	34	V15	34		
	16	X38	14,4	K16	17	V16	17		
	17	X39	13,5	K17	16	V17	16		
	18	X40	81,0	K18	15	V18	15		
	19	X41	8,5	K19	90	V19	90		
	20	X42	17,0	K20	17	V20	17		
	21	X43	6,0	K21	34	V21	34		
	22	X44	13,5	K22	12	V22	12		
palawija	1	X89	0,0	K23	27	V23	27		
	2	X90	0,0	K24	1050	V24	1050		
	3	X91	0,0	K25	16	V25	16		
	4	X92	0,0	K26	10	V26	9,8		
	5	X93	0,0	K27	4	V27	3,7		
	6	X94	0,0	K28	2	V28	1,8		
	7	X95	0,0	K29	4	V29	3,9		
	8	X96	0,0	K30	14	V30	14,1		
	9	X97	0,0	K31	5	V31	5,4		
	10	X98	0,0	K32	4	V32	3,6		
	11	X99	0,0	K33	1	V33	1,4		
	12	X100	0,0	K34	2	V34	1,7		
	13	X101	0,0	K35	2	V35	2		
	14	X102	0,0	K36	12	V36	11,8		
	15	X103	0,0	K37	4	V37	3,6		
	16	X104	0,0	K38	3	V38	3,4		
	17	X105	0,0	K39	2	V39	1,7		
	18	X106	0,0	K40	2	V40	1,6		
	19	X107	6,8	K41	2	V41	1,5		
	20	X108	13,6	K42	9	V42	9		
	21	X109	4,8	K43	2	V43	1,7		
	22	X110	10,8	K44	3	V44	3,4		

T	1	**X155**	16,0	**K45**	1	**V45**	1,2		
e	2	**X156**	9,8	**K46**	3	**V46**	2,7		
b	3	**X157**	3,7	**K47**	7	**V47**	6,8		
u	4	**X158**	1,8	**K48**	14	**V48**	13,6		
	5	**X159**	3,9	**K49**	5	**V49**	4,8		
	6	**X160**	14,1	**K50**	11	**V50**	10,8		
	7	**X161**	5,4						
	8	**X162**	3,6						
	9	**X163**	1,4						
	10	**X164**	1,7						
	11	**X165**	2,0						
	12	**X166**	11,8						
	13	**X167**	3,6						
	14	**X168**	3,4						
	15	**X169**	1,7						
	16	**X170**	1,6						
	17	**X171**	1,5						
	18	**X172**	9,0						
	19	**X173**	1,7						
	20	**X174**	3,4						
	21	**X175**	1,2						
	22	**X176**	2,7						

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini di dapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 2 Altenatif I didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.18.574.337.550,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

Tabel 31 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 3

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
Padi	1	X45	0,0	K1	4467787	V1	54815270	F1	Rp 38.479.350.000
	2	X46	0,0	K2	160	V2	160		
	3	X47	0,0	K3	98	V3	98		
	4	X48	0,0	K4	37	V4	37		
	5	X49	0,0	K5	18	V5	18		
	6	X50	0,0	K6	39	V6	39		
	7	X51	0,0	K7	141	V7	141		
	8	X52	0,0	K8	54	V8	54		
	9	X53	0,0	K9	36	V9	36		
	10	X54	0,0	K10	14	V10	14		
	11	X55	0,0	K11	17	V11	17		
	12	X56	0,0	K12	20	V12	20		
	13	X57	0,0	K13	118	V13	118		
	14	X58	0,0	K14	36	V14	36		
	15	X59	0,0	K15	34	V15	34		
	16	X60	0,0	K16	17	V16	17		
	17	X61	0,0	K17	16	V17	16		
	18	X62	0,0	K18	15	V18	15		
	19	X63	0,0	K19	90	V19	90		
	20	X64	0,0	K20	17	V20	17		
	21	X65	0,0	K21	34	V21	34		
	22	X66	0,0	K22	12	V22	12		
Palawija	1	X111	96,0	K23	27	V23	27		
	2	X112	58,8	K24	1050	V24	1050		
	3	X113	22,2	K25	96	V25	96		
	4	X114	10,8	K26	59	V26	58,8		
	5	X115	23,4	K27	22	V27	22,2		
	6	X116	84,6	K28	11	V28	10,8		
	7	X117	32,4	K29	23	V29	23,4		
	8	X118	21,6	K30	85	V30	84,6		
	9	X119	8,4	K31	32	V31	32,4		
	10	X120	10,2	K32	22	V32	21,6		
	11	X121	12,0	K33	8	V33	8,4		
	12	X122	70,8	K34	10	V34	10,2		
	13	X123	21,6	K35	12	V35	12		
	14	X124	20,4	K36	71	V36	70,8		
	15	X125	10,2	K37	22	V37	21,6		
	16	X126	9,6	K38	20	V38	20,4		
	17	X127	9,0	K39	10	V39	10,2		
	18	X128	54,0	K40	10	V40	9,6		
	19	X129	10,2	K41	9	V41	9		
	20	X130	20,4	K42	54	V42	54		
	21	X131	7,2	K43	10	V43	10,2		
	22	X132	16,2	K44	20	V44	20,4		

T e b u	1	X177	64,0	**K45**	7	**V45**	7,2		
	2	X178	39,2	**K46**	16	**V46**	16,2		
	3	X179	14,8						
	4	X180	7,2						
	5	X181	15,6						
	6	X182	56,4						
	7	X183	21,6						
	8	X184	14,4						
	9	X185	5,6						
	10	X186	6,8						
	11	X187	8,0						
	12	X188	47,2						
	13	X189	14,4						
	14	X190	13,6						
	15	X191	6,8						
	16	X192	6,4						
	17	X193	6,0						
	18	X194	36,0						
	19	X195	6,8						
	20	X196	13,6						
	21	X197	4,8						
	22	X198	10,8						

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini di dapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 3 Altenatif I didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.38.479.350.000,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

c. Optimasi pada PTT Alternatif 2

Hasil optimasi pada pada kondisi eksisting dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 32 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 1

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
padi	1	X1	160	K1	5526313	V1	60857395	F1	Rp 10.633.297.500
	2	X2	98	K2	160	V2	160		
	3	X3	37	K3	98	V3	98		
	4	X4	18	K4	37	V4	37		
	5	X5	39	K5	18	V5	18		
	6	X6	141	K6	39	V6	39		
	7	X7	54	K7	141	V7	141		
	8	X8	36	K8	54	V8	54		
	9	X9	14	K9	36	V9	36		
	10	X10	17	K10	14	V10	14		
	11	X11	20	K11	17	V11	17		
	12	X12	118	K12	20	V12	20		
	13	X13	36	K13	118	V13	118		
	14	X14	34	K14	36	V14	36		
	15	X15	17	K15	34	V15	34		
	16	X16	16	K16	17	V16	17		
	17	X17	15	K17	16	V17	16		
	18	X18	90	K18	15	V18	15		
	19	X19	17	K19	90	V19	90		
	20	X20	34	K20	17	V20	17		
	21	X21	12	K21	34	V21	34		
	22	X22	27	K22	12	V22	12		
palawija	1	X67	0	K23	27	V23	27		
	2	X68	0	K24	1050	V24	1050		
	3	X69	0						
	4	X70	0						
	5	X71	0						
	6	X72	0						
	7	X73	0						
	8	X74	0						
	9	X75	0						
	10	X76	0						
	11	X77	0						
	12	X78	0						
	13	X79	0						
	14	X80	0						
	15	X81	0						
	16	X82	0						
	17	X83	0						
	18	X84	0						
	19	X85	0						
	20	X86	0						
	21	X87	0						
	22	X88	0						

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini di dapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 1 Altenatif II didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.10.633.297.500,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

Tabel 33 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 2

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
Padi	1	X23	120,0	K1	8274738	V1	61623418	F1	Rp8.517.035.625
	2	X24	73,5	K2	160	V2	160		
	3	X25	27,8	K3	98	V3	98		
	4	X26	13,5	K4	37	V4	37		
	5	X27	29,3	K5	18	V5	18		
	6	X28	105,8	K6	39	V6	39		
	7	X29	40,5	K7	141	V7	141		
	8	X30	27,0	K8	54	V8	54		
	9	X31	10,5	K9	36	V9	36		
	10	X32	12,8	K10	14	V10	14		
	11	X33	15,0	K11	17	V11	17		
	12	X34	88,5	K12	20	V12	20		
	13	X35	27,0	K13	118	V13	118		
	14	X36	25,5	K14	36	V14	36		
	15	X37	12,8	K15	34	V15	34		
	16	X38	12,0	K16	17	V16	17		
	17	X39	11,3	K17	16	V17	16		
	18	X40	67,5	K18	15	V18	15		
	19	X41	12,8	K19	90	V19	90		
	20	X42	25,5	K20	17	V20	17		
	21	X43	9,0	K21	34	V21	34		
	22	X44	20,3	K22	12	V22	12		
Palawija	1	X89	40,0	K23	27	V23	27		
	2	X90	24,5	K24	1050	V24	1050		
	3	X91	9,3	K25	40	V25	40		
	4	X92	4,5	K26	25	V26	24,5		
	5	X93	9,8	K27	9	V27	9,25		
	6	X94	35,3	K28	5	V28	4,5		
	7	X95	13,5	K29	10	V29	9,75		
	8	X96	9,0	K30	35	V30	35,25		
	9	X97	3,5	K31	14	V31	13,5		
	10	X98	4,3	K32	9	V32	9		
	11	X99	5,0	K33	4	V33	3,5		
	12	X100	29,5	K34	4	V34	4,25		
	13	X101	9,0	K35	5	V35	5		
	14	X102	8,5	K36	30	V36	29,5		
	15	X103	4,3	K37	9	V37	9		
	16	X104	4,0	K38	9	V38	8,5		
	17	X105	3,8	K39	4	V39	4,25		
	18	X106	22,5	K40	4	V40	4		
	19	X107	4,3	K41	4	V41	3,75		
	20	X108	8,5	K42	23	V42	22,5		
	21	X109	3,0	K43	4	V43	4,25		
	22	X110	6,8	K44	9	V44	8,5		

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini didapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 2 Altenatif II didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.8.517.035.625,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

Tabel 34 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 3

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
Padi	1	X45	160,0	K1	743212,9	V1	54815270	F1	Rp 9.788.405.140
	2	X46	98,0	K2	160	V2	160		
	3	X47	37,0	K3	98	V3	98		
	4	X48	18,0	K4	37	V4	37		
	5	X49	39,0	K5	18	V5	18		
	6	X50	141,0	K6	39	V6	39		
	7	X51	54,0	K7	141	V7	141		
	8	X52	36,0	K8	54	V8	54		
	9	X53	14,0	K9	36	V9	36		
	10	X54	17,0	K10	14	V10	14		
	11	X55	20,0	K11	17	V11	17		
	12	X56	118,0	K12	20	V12	20		
	13	X57	36,0	K13	118	V13	118		
	14	X58	20,4	K14	36	V14	36		
	15	X59	10,2	K15	34	V15	34		
	16	X60	9,6	K16	17	V16	17		
	17	X61	9,0	K17	16	V17	16		
	18	X62	54,0	K18	15	V18	15		
	19	X63	10,2	K19	90	V19	90		
	20	X64	20,4	K20	17	V20	17		
	21	X65	7,2	K21	34	V21	34		
	22	X66	16,2	K22	12	V22	12		
Palawija	1	X111	0,0	K23	27	V23	27		
	2	X112	0,0	K24	1050	V24	1050		
	3	X113	0,0	K25	0	V25	64		
	4	X114	0,0	K26	0	V26	39,2		
	5	X115	0,0	K27	0	V27	14,8		
	6	X116	0,0	K28	0	V28	7,2		
	7	X117	0,0	K29	0	V29	15,6		
	8	X118	0,0	K30	0	V30	56,4		
	9	X119	0,0	K31	0	V31	21,6		
	10	X120	0,0	K32	0	V32	14,4		
	11	X121	0,0	K33	0	V33	5,6		
	12	X122	0,0	K34	0	V34	6,8		
	13	X123	0,0	K35	0	V35	8		
	14	X124	13,6	K36	0	V36	47,2		
	15	X125	6,8	K37	0	V37	14,4		
	16	X126	6,4	K38	14	V38	13,6		
	17	X127	6,0	K39	7	V39	6,8		
	18	X128	36,0	K40	6	V40	6,4		
	19	X129	6,8	K41	6	V41	6		
	20	X130	13,6	K42	36	V42	36		
	21	X131	4,8	K43	7	V43	6,8		
	22	X132	10,8	K44	14	V44	13,6		
				K45	5	V45	4,8		
				K46	11	V46	10,8		

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini di dapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 2 Altenatif III didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.9.778.405.140,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

d. Optimasi pada PTT Alternatif 3

Hasil optimasi pada pada kondisi eksisting dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 35 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 1

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
P	1	**X1**	136	**K1**	4933340	**V1**	60857395	F1	Rp 22.980.202.875
a	2	**X2**	83	**K2**	160	**V2**	160		
d	3	**X3**	31	**K3**	98	**V3**	98		
i	4	**X4**	15	**K4**	37	**V4**	37		
	5	**X5**	33	**K5**	18	**V5**	18		
	6	**X6**	120	**K6**	39	**V6**	39		
	7	**X7**	46	**K7**	141	**V7**	141		
	8	**X8**	31	**K8**	54	**V8**	54		
	9	**X9**	12	**K9**	36	**V9**	36		
	10	**X10**	14	**K10**	14	**V10**	14		
	11	**X11**	17	**K11**	17	**V11**	17		
	12	**X12**	100	**K12**	20	**V12**	20		
	13	**X13**	31	**K13**	118	**V13**	118		
	14	**X14**	29	**K14**	36	**V14**	36		
	15	**X15**	14	**K15**	34	**V15**	34		
	16	**X16**	14	**K16**	17	**V16**	17		
	17	**X17**	13	**K17**	16	**V17**	16		
	18	**X18**	77	**K18**	15	**V18**	15		
	19	**X19**	14	**K19**	90	**V19**	90		
	20	**X20**	29	**K20**	17	**V20**	17		
	21	**X21**	10	**K21**	34	**V21**	34		
	22	**X22**	23	**K22**	12	**V22**	12		

P	1	X67	0	K23	27	V23	27		
a	2	X68	0	K24	1050	V24	1050		
l	3	X69	0	K25	24	V25	24		
a	4	X70	0	K26	15	V26	14,7		
w	5	X71	0	K27	6	V27	5,55		
i	6	X72	0	K28	3	V28	2,7		
j	7	X73	0	K29	6	V29	5,85		
a	8	X74	0	K30	21	V30	21,15		
	9	X75	0	K31	8	V31	8,1		
	10	X76	0	K32	5	V32	5,4		
	11	X77	0	K33	2	V33	2,1		
	12	X78	0	K34	3	V34	2,55		
	13	X79	0	K35	3	V35	3		
	14	X80	0	K36	18	V36	17,7		
	15	X81	0	K37	5	V37	5,4		
	16	X82	0	K38	5	V38	5,1		
	17	X83	0	K39	3	V39	2,55		
	18	X84	0	K40	2	V40	2,4		
	19	X85	0	K41	2	V41	2,25		
	20	X86	0	K42	14	V42	13,5		
	21	X87	0	K43	3	V43	2,55		
	22	X88	0	K44	5	V44	5,1		
T	1	X133	24	K45	2	V45	1,8		
e	2	X134	15	K46	4	V46	4,05		
b	3	X135	6						
u	4	X136	3						
	5	X137	6						
	6	X138	21						
	7	X139	8						
	8	X140	5						
	9	X141	2						
	10	X142	3						
	11	X143	3						
	12	X144	18						
	13	X145	5						
	14	X146	5						
	15	X147	3						
	16	X148	2						
	17	X149	2						
	18	X150	14						
	19	X151	3						
	20	X152	5						
	21	X153	2						
	22	X154	4						

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini di dapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 1 Altenatif III didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.22.980.202.875,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

Tabel 36 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 2

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
padi	1	X23	136,0	K1	9126664	V1	61623418	F1	Rp 22.689.972.675
	2	X24	83,3	K2	160	V2	160		
	3	X25	31,5	K3	98	V3	98		
	4	X26	15,3	K4	37	V4	37		
	5	X27	33,2	K5	18	V5	18		
	6	X28	119,9	K6	39	V6	39		
	7	X29	45,9	K7	141	V7	141		
	8	X30	30,6	K8	54	V8	54		
	9	X31	11,9	K9	36	V9	36		
	10	X32	14,5	K10	14	V10	14		
	11	X33	17,0	K11	17	V11	17		
	12	X34	100,3	K12	20	V12	20		
	13	X35	30,6	K13	118	V13	118		
	14	X36	28,9	K14	36	V14	36		
	15	X37	14,5	K15	34	V15	34		
	16	X38	13,6	K16	17	V16	17		
	17	X39	12,8	K17	16	V17	16		
	18	X40	76,5	K18	15	V18	15		
	19	X41	7,7	K19	90	V19	90		
	20	X42	15,3	K20	17	V20	17		
	21	X43	5,4	K21	34	V21	34		
	22	X44	12,2	K22	12	V22	12		
palawija	1	X89	0,0	K23	27	V23	27		
	2	X90	0,0	K24	1050	V24	1050		
	3	X91	0,0	K25	24	V25	24	1	
	4	X92	0,0	K26	15	V26	14,7	2	
	5	X93	0,0	K27	6	V27	5,55	3	
	6	X94	0,0	K28	3	V28	2,7	4	
	7	X95	0,0	K29	6	V29	5,85	5	
	8	X96	0,0	K30	21	V30	21,15	6	
	9	X97	0,0	K31	8	V31	8,1	7	
	10	X98	0,0	K32	5	V32	5,4	8	
	11	X99	0,0	K33	2	V33	2,1	9	
	12	X100	0,0	K34	3	V34	2,55	10	
	13	X101	0,0	K35	3	V35	3	11	
	14	X102	0,0	K36	18	V36	17,7	12	
	15	X103	0,0	K37	5	V37	5,4	13	
	16	X104	0,0	K38	5	V38	5,1	14	
	17	X105	0,0	K39	3	V39	2,55	15	
	18	X106	0,0	K40	2	V40	2,4	16	
	19	X107	6,8	K41	2	V41	2,25	17	
	20	X108	13,6	K42	14	V42	13,5	18	
	21	X109	4,8	K43	3	V43	2,55	19	
	22	X110	10,8	K44	5	V44	5,1	20	

T	1	**X155**	24,0	**K45**	2	**V45**	1,8	21	
e	2	**X156**	14,7	**K46**	4	**V46**	4,05	22	
b	3	**X157**	5,6	**K47**	7	**V47**	6,8		
u	4	**X158**	2,7	**K48**	14	**V48**	13,6		
	5	**X159**	5,9	**K49**	5	**V49**	4,8		
	6	**X160**	21,2	**K50**	11	**V50**	10,8		
	7	**X161**	8,1						
	8	**X162**	5,4						
	9	**X163**	2,1						
	10	**X164**	2,6						
	11	**X165**	3,0						
	12	**X166**	17,7						
	13	**X167**	5,4						
	14	**X168**	5,1						
	15	**X169**	2,6						
	16	**X170**	2,4						
	17	**X171**	2,3						
	18	**X172**	13,5						
	19	**X173**	2,6						
	20	**X174**	5,1						
	21	**X175**	1,8						
	22	**X176**	4,1						

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini didapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 2 Altenatif III didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.22.689.972.675,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

Tabel 37 Hasil Optimasi keuntungan dan luas tanam kondisi eksisting periode 3

	Masa Tanam	Variabel	Luas	Variabel	Kendala	Variabel	Kontrol	Variabel	Keuntungan
Padi	1	X45	0,0	K1	8546728	V1	54815270	F1	Rp 40.813.635.000
	2	X46	0,0	K2	160	V2	160		
	3	X47	0,0	K3	98	V3	98		
	4	X48	0,0	K4	37	V4	37		
	5	X49	0,0	K5	18	V5	18		
	6	X50	0,0	K6	39	V6	39		
	7	X51	0,0	K7	141	V7	141		
	8	X52	0,0	K8	54	V8	54		
	9	X53	0,0	K9	36	V9	36		
	10	X54	0,0	K10	14	V10	14		
	11	X55	0,0	K11	17	V11	17		
	12	X56	0,0	K12	20	V12	20		
	13	X57	0,0	K13	118	V13	118		
	14	X58	0,0	K14	36	V14	36		
	15	X59	0,0	K15	34	V15	34		
	16	X60	0,0	K16	17	V16	17		
	17	X61	0,0	K17	16	V17	16		
	18	X62	0,0	K18	15	V18	15		
	19	X63	0,0	K19	90	V19	90		
	20	X64	0,0	K20	17	V20	17		
	21	X65	0,0	K21	34	V21	34		
	22	X66	0,0	K22	12	V22	12		
Palawija	1	X111	96,0	K23	27	V23	27		
	2	X112	58,8	K24	1050	V24	1050		
	3	X113	22,2	K25	96	V25	96		
	4	X114	10,8	K26	59	V26	58,8		
	5	X115	23,4	K27	22	V27	22,2		
	6	X116	84,6	K28	11	V28	10,8		
	7	X117	32,4	K29	23	V29	23,4		
	8	X118	21,6	K30	85	V30	84,6		
	9	X119	8,4	K31	32	V31	32,4		
	10	X120	10,2	K32	22	V32	21,6		
	11	X121	12,0	K33	8	V33	8,4		
	12	X122	94,4	K34	10	V34	10,2		
	13	X123	21,6	K35	12	V35	12		
	14	X124	20,4	K36	94	V36	94,4		
	15	X125	13,6	K37	22	V37	21,6		
	16	X126	9,6	K38	20	V38	20,4		
	17	X127	9,0	K39	14	V39	13,6		
	18	X128	54,0	K40	10	V40	9,6		
	19	X129	0,0	K41	9	V41	9		
	20	X130	0,0	K42	54	V42	54		
	21	X131	0,0						
	22	X132	0,0						

T e b u	1	X177	64,0						
	2	X178	39,2						
	3	X179	14,8						
	4	X180	7,2						
	5	X181	15,6						
	6	X182	56,4						
	7	X183	21,6						
	8	X184	14,4						
	9	X185	5,6						
	10	X186	6,8						
	11	X187	8,0						
	12	X188	23,6						
	13	X189	14,4						
	14	X190	13,6						
	15	X191	3,4						
	16	X192	6,4						
	17	X193	6,0						
	18	X194	36,0						
	19	X195	17,0						
	20	X196	34,0						
	21	X197	12,0						
	22	X198	27,0						

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil optimasi ini didapatkan menggunakan fasilitas *solver* pada periode ke 3 Altenatif III didapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.40.813.635.000,- per tahun dengan luas tanam total 1050 Ha.

SOAL-SOAL IRIGASI

Tugas Irigasi

1) Diketahui data curah hujan pada Stasiun Poncokusumo sebagai berikut:

NO	TAHUN	CH. HARIAN MAKSIMUM (mm)
1	1998	74
2	1999	83
3	2000	71
4	2001	72
5	2002	91
6	2003	62
7	2004	86
8	2005	56
9	2006	56
10	2007	62
11	2008	150

Tentukan debit andalan 80% & 90% dengan menggunakan:

a. Metode Gumbel (data dianggap memenuhi persyaratan statistik Gumbel)

b . Metode Log Perason III

c. Masing-2 metode dilengkapi dengan gambar distribusi!

d. Masing-masing metode dilengkapi dengan uji kesesuaian distribusi (uji Chi Square dan uji Smirnov-Kolmogorof)

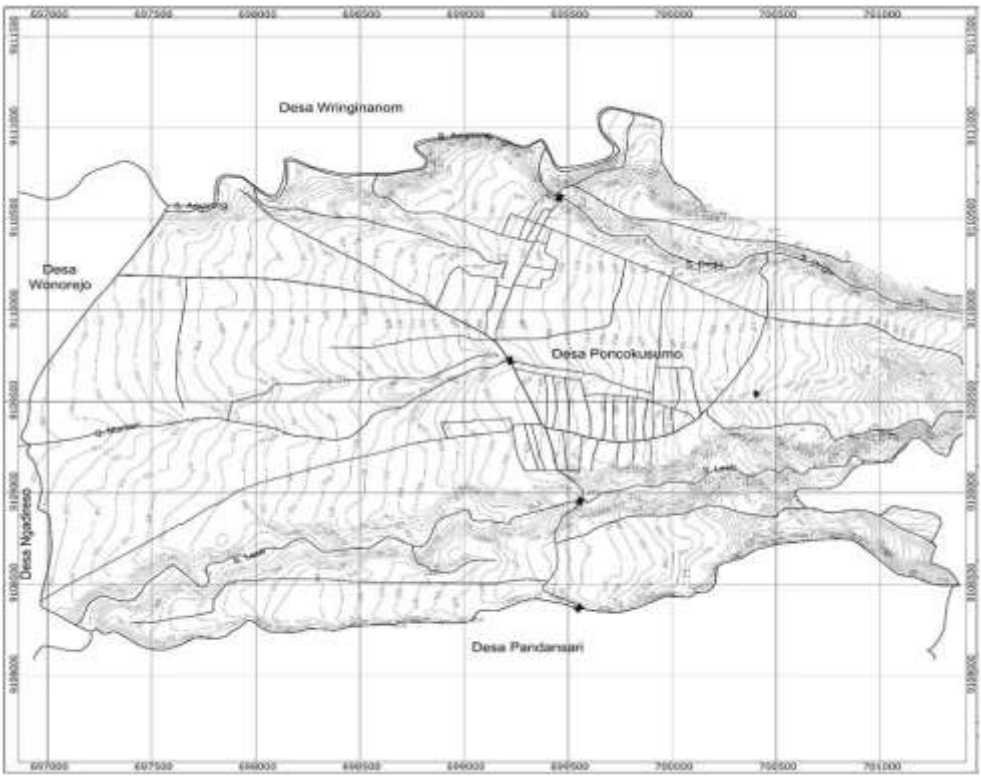
2) Diketahui data klimatologi rata-rata pada tahun 1998-2009 sebagai berikut:

Bulan	Data Terukur			
	t (°C)	RH (%)	U (m/dt)	n/N (%)
Januari	26,22	81,58	9,560	40
Pebruari	26,28	80,42	10,117	40
Maret	26,09	82,25	9,474	43
April	26,21	83,50	9,131	42
Mei	26,18	84,83	10,375	55
Juni	25,96	85,25	9,689	56
Juli	25,35	85,00	11,661	52
Agustus	25,64	84,25	10,803	58
September	25,97	83,17	10,503	50
Oktober	26,18	82,92	9,474	51
Nopember	26,44	82,67	8,617	45
Desember	26,22	82,00	9,046	50

Tentukan evaporasi dengan metode Penmann Modifikasi!

3) Rencanakan kebutuhan air tanaman bila daerah tersebut ditanami:
   a. Padi-padi-Polowijo
   b . Apel-Tebu-Jagung

4) Rencanakan jaringan irigasi pada daerah tersebut



Gambar Peta Topografi Desa Poncokusumo

Tentang Penulis

Eko Noerhayati, lahir di Blitar, 20 Agustus 1963. Sejak tahun 1989 diangkat sebagai Tenaga Pengajar Tetap Fakultas Teknik Universitas Islam malang. Pendidikan: lulus SD Talun I Blitar 1974, lulus SMP Talun Blitar tahun 1976, lulus SMA Kolese Santo Yusup malang tahun 1980. Lulus sebagai insinyur Pengairan pada Fakultas Teknik Universitas brawijaya malang tahun 1985, lulus Magister Teknik pada Pasca Sarjana Universitas Brawijaya Malang pada tahun 1998. Pada tahun 2011 bergelar doctor minat Teknik Sumberdaya Air pada Pasca Sarjana Univer-sitas Brawijaya Malang. Menekuni penelitian terkait Sumber daya Air dan Lingkungan. Beberapa tulisan yang sudah diterbitkan Metode Neraca Air Daerah Aliran Sungai Dengan Aplikasi Minitap, Badan Penerbit FE UNISMA 2015, Hidrologi Terapan Aplikasi Pada Daerah Aliran Sungai, Media Sutra Atiga 2016.

Ir. Bambang Suprapto., MT, lahir pada tanggal 12 April 1956 di Kota Malang. Menyelesaikan pendidikan dasar sampai lanjutan atas (SMA) di kota kelahiran Malang. Menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Sipil Universitas Merdeka Malang pada tahun 1985. Lulus Magister Teknik pada Pasca Sarjana Brawijaya Malang pada tahun 1999 serta sebagai tenaga pengajar di Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Malang mengampun matakuliah Mekanika Teknik, Drainase dan Bangunan Air. Penelitian yang dilakukan dibidang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Optimasi Irigasi.