

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Irigasi

Kebutuhan pangan terutama beras terus meningkat dari waktu ke waktu sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk. Di sisi lain ketersediaan pangan terbatas sehubungan dengan terbatasnya lahan yang ada untuk bercocok tanam, teknologi, modal dan tenaga kerja, sehingga defisit penyediaan bahan pangan masih sering terjadi di negeri ini. Untuk itu berbagai pihak tidak henti-hentinya berupaya untuk mengatasi masalah tersebut diatas melalui berbagai kebijaksanaan dan program (Sudjarwadi, 1990).

Sudjarwadi (1990) mendefinisikan irigasi merupakan salah satu faktor penting dalam produksi bahan pangan. Sistem irigasi dapat diartikan sebagai satu kesatuan yang tersusun dari berbagai komponen, menyangkut upaya penyediaan, pembagian, pengelolaan dan pengaturan air dalam rangka meningkatkan produksi pertanian. Beberapa komponen dalam sistem irigasi diantaranya adalah :

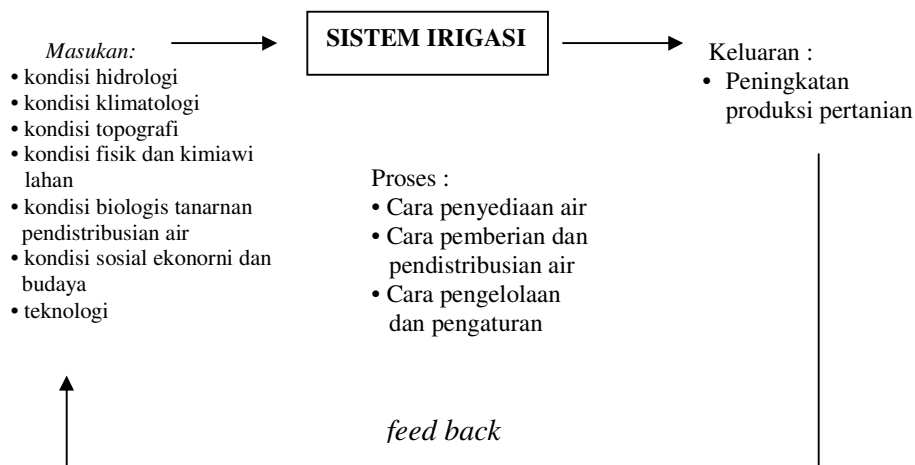
- a) siklus hidrologi (iklim, air atmosferik, air permukaan, air bawah permukaan),
- b) kondisi fisik dan kimiawi (topografi, infrastruktur, sifat fisik dan kimiawi lahan),
- c) kondisi biologis tanaman,
- d) aktivitas manusia (teknologi, sosial, budaya, ekonomi).

Ditinjau dari proses penyediaan, pemberian, pengelolaan dan pengaturan air, sistem irigasi dapat dikelompokkan menjadi 4 (Sudjarwadi, 1990), yaitu :

- a) sistem irigasi permukaan (*surface irrigation system*),

- b) sistem irigasi bawah permukaan (*sub surface irrigation system*),
- c) sistem irigasi dengan pemancaran (*sprinkle irrigation system*),
- d) sistem irigasi dengan tetesan (*trickle irrigation / drip irrigation system*).

Pemilihan jenis sistem irigasi sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, klimatologi, topografi, fisik dan kimiawi lahan, biologis tanaman sosial ekonomi dan budaya, teknologi (sebagai masukan sistem irigasi) serta keluaran atau hasil yang akan diharapkan (Bustomi, 2000). Menurut Bustomi (2000) representasi sistem irigasi sebagai suatu kesatuan hubungan masukan (input), proses dan keluaran (output) dapat digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Representasi Sistem Irigasi
(Sumber : Bustomi, 2000)

2.2. Jaringan Irigasi

Jaringan irigasi adalah satu kesatuan saluran dan bangunan yang diperlukan untuk pengaturan air irigasi, mulai dari penyediaan, pengambilan, pembagian, pemberian dan penggunaannya. Secara hirarki jaringan irigasi dibagi menjadi jaringan utama dan jaringan tersier. Jaringan utama meliputi bangunan,

saluran primer dan saluran sekunder. Sedangkan jaringan tersier terdiri dari bangunan dan saluran yang berada dalam petak tersier. Suatu kesatuan wilayah yang mendapatkan air dari suatu jaringan irigasi disebut dengan Daerah Irigasi (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

Mengacu pada Direktorat Jenderal Pengairan (1986) cara pengaturan, pengukuran, serta kelengkapan fasilitas, jaringan irigasi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu (1) jaringan irigasi sederhana, (2) jaringan irigasi semi teknis dan (3) jaringan irigasi teknis.

Tabel 2.1 Klasifikasi Jaringan Irigasi

Klasifikasi Jaringan Irigasi			
	Teknis	Semi Teknis	Sederhana
Bangunan Utama	Bangunan permanen	Bangunan permanen atau semi permanen	Bangunan sementara
Kemampuan dalam mengukur dan mengatur debit	Baik	Sedang	tidak mampu mengatur / mengukur
Jaringan saluran	Saluran pemberi dan Pembuang terpisah	Saluran pemberi dan Pembuang tidak sepenuhnya terpisah	Saluran pemberi dan pembuang menjadi satu
Petak tersier	Dikembangkan sepenuhnya	Belum dikembangkan dentitas bangunan tersier jarang	belum ada jaringan terpisah yang dikembangkan
Efisiensi secara keseluruhan	50-60%	40-50%	<40%
Ukuran	Tak ada batasan	< 2000 hektar	< 500 hektar

Sumber : Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

2.2.1. Petak Tersier

Petak tersier terdiri dari beberapa petak kuarter masing-masing seluas kurang lebih 8 sampai dengan 15 hektar. Pembagian air, eksploitasi dan pemeliharaan di petak tersier menjadi tanggung jawab para petani yang mempunyai lahan di petak yang bersangkutan dibawah bimbingan pemerintah. Petak tersier sebaiknya mempunyai batas-batas yang jelas, misalnya jalan, parit,

batas desa dan batas-batas lainnya. Ukuran petak tersier berpengaruh terhadap efisiensi pemberian air. Beberapa faktor lainnya yang berpengaruh dalam penentuan luas petak tersier antara lain jumlah petani, topografi dan jenis tanaman (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

2.2.2. Petak Sekunder

Menurut Direktorat Jenderal Pengairan (1986) 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 topografi yang jelas misalnya saluran drainase. Luas petak sekunder dapat berbeda-beda tergantung pada kondisi topografi daerah yang bersangkutan.

Saluran sekunder pada umumnya terletak pada punggung mengairi daerah di sisi kanan dan kiri saluran tersebut sampai saluran drainase yang membatasinya. Saluran sekunder juga dapat direncanakan sebagai saluran garis tinggi yang mengairi lereng medan yang lebih rendah (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

2.2.3. Petak Primer

Petak primer terdiri dari beberapa petak sekunder yang mengambil langsung air dari saluran primer. Petak primer dilayani oleh satu saluran primer yang mengambil air langsung dari bangunan penyadap. Daerah di sepanjang

saluran primer sering tidak dapat dilayani dengan mudah dengan cara menyadap air dari saluran sekunder (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

2.2.4. Bangunan Irigasi

Keberadaan bangunan irigasi diperlukan untuk menunjang pengambilan dan pengaturan air irigasi. Beberapa jenis bangunan irigasi yang sering dijumpai dalam praktek irigasi antara lain (1) bangunan utama, (2) bangunan pembawa, (3) bangunan bagi, (4) bangunan sadap, (5) bangunan pengatur muka air, (6) bangunan pembuang dan penguras serta (7) bangunan pelengkap (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

Menurut Direktorat Jenderal Pengairan (1986) bangunan utama dimaksudkan sebagai penyadap dari suatu sumber air untuk dialirkan ke seluruh daerah irigasi yang dilayani. Berdasarkan sumber airnya, bangunan utama dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori, (1) bendung, (2) pengambilan bebas, (3) pengambilan dari waduk, dan (4) stasiun pompa.

Direktorat Jenderal Pengairan, 1986) memberikan penjelasan mengenai berbagai saluran yang ada dalam suatu sistem irigasi sebagai berikut :

- a) Saluran primer membawa air dari bangunan sadap menuju saluran sekunder dan ke petak-petak tersier yang diairi. Batas ujung saluran primer adalah pada bangunan bagi yang terakhir.
- b) Saluran sekunder membawa air dari bangunan yang menyadap dari saluran primer menuju petak-petak tersier yang dilayani oleh saluran sekunder tersebut. Batas akhir dari saluran sekunder adalah bangunan sadap terakhir.

- c) Saluran tersier membawa air dari bangunan yang menyadap dari saluran sekunder menuju petak-petak kuarter yang dilayani oleh saluran sekunder tersebut. Batas akhir dari saluran sekunder adalah bangunan boks tersier terakhir.
- d) Saluran kuarter membawa air dari bangunan yang menyadap dari boks tersier menuju petak-petak sawah yang dilayani oleh saluran sekunder tersebut. Batas akhir dari saluran sekunder adalah bangunan boks kuarter terakhir.

Direktorat Jenderal Pengairan (1986) mendefinisikan bangunan bagi merupakan bangunan yang terletak pada saluran primer, sekunder dan tersier yang berfungsi untuk membagi air yang dibawa oleh saluran yang bersangkutan. Khusus untuk saluran tersier dan kuarter bangunan bagi ini masing-masing disebut boks tersier dan boks kuarter. Bangunan sadap tersier mengalirkan air dari saluran primer atau sekunder menuju saluran tersier penerima. Bangunan bagi pada saluran-saluran besar pada umumnya mempunyai 3 (tiga) bagian utama (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986) yaitu :

- a) Alat pembendung, bermaksud untuk mengatur elevasi muka air sesuai dengan tinggi pelayanan yang direncanakan.
- b) Perlengkapan jalan air melintasi tanggul, jalan atau bangunan lain menuju saluran cabang. Konstruksinya dapat berupa saluran terbuka ataupun gorong-gorong. Bangunan ini dilengkapi dengan pintu pengatur agar debit yang masuk saluran dapat diatur.
- c) Bangunan ukur debit, yaitu suatu bangunan yang dimaksudkan untuk mengukur besarnya debit yang mengalir.

Agar pemberian air irigasi sesuai dengan yang direncanakan, perlu dilakukan pengaturan dan pengukuran aliran di bangunan sadap (awal saluran primer), cabang saluran jaringan primer serta bangunan sadap primer dan sekunder. Bangunan pengatur muka air dimaksudkan untuk dapat mengatur muka air sampai batas-batas yang diperlukan untuk dapat memberikan debit yang konstan dan sesuai dengan yang dibutuhkan. Sedangkan bangunan pengukur dimaksudkan untuk dapat memberi informasi mengenai besar aliran yang dialirkan (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

Tabel 2.2 Beberapa Jenis Alat Ukur Debit

Tipe Alat Ukur	Mengukur Dengan	Kemampuan Mengatur
Ambang Lebar	aliran atas	tidak
<i>Parshal Flume</i>	aliran atas	tidak
<i>Cipoletti</i>	aliran atas	tidak
<i>Romijn</i>	aliran atas	ya
<i>Crump de Gruyter</i>	aliran bawah	ya
<i>Constant Head Orifice</i>	aliran bawah	ya
Bangunan Sadap pipa sederhana	aliran bawah	ya

Sumber : Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

Menurut Direktorat Jenderal Pengairan (1986) bangunan drainase dimaksudkan untuk membuang kelebihan air di petak sawah maupun saluran. Kelebihan air di petak sawah dibuang melalui saluran pembuang, sedangkan kelebihan air di saluran dan dibuang melalui bangunan pelimpah. Terdapat beberapa jenis saluran pembuang, yaitu saluran pembuang kuarter, saluran pembuang tersier, saluran pembuang sekunder dan saluran pembuang primer. Jaringan pembuang tersier dimaksudkan untuk :

- a) mengeringkan sawah,
- b) membuang kelebihan air hujan,
- c) membuang kelebihan air irigasi.

Saluran pembuang kuarter menampung air langsung dari sawah di daerah atasnya atau dari saluran pembuang di daerah bawah. Saluran pembuang tersier menampung air buangan dari saluran pembuang kuarter. Saluran pembuang primer menampung dari saluran pembuang tersier dan membawanya untuk dialirkan kembali ke sungai (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

Bangunan pelengkap berfungsi sebagai pelengkap bangunan-bangunan irigasi yang telah disebutkan sebelumnya. Bangunan pelengkap berfungsi untuk memperlancar para petugas dalam eksploitasi dan pemeliharaan. Bangunan pelengkap dapat juga dimanfaatkan untuk pelayanan umum. Jenis-jenis bangunan pelengkap antara lain jalan inspeksi, tanggul, jembatan penyeberangan, tangga mandi manusia, sarana mandi hewan, serta bangunan lainnya (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

2.3. Pengelolaan Air Irigasi

Pengelolaan sumberdaya air di Indonesia pada saat ini mengalami beberapa permasalahan pokok, diantaranya adalah ketersediaan air yang semakin terbatas (*scarcity*), kompetisi pemanfaatan air antar sektor, penurunan ketahanan fisik dari prasarana pengendali banjir serta penurunan keberlanjutan dari prasarana jaringan irigasi, penyediaan air bersih untuk penduduk perkotaan, pembuangan limbah cair perkotaan dan industri, penurunan daya dukung daerah

tangkapan air, semakin meningkatnya frekuensi banjir tahunan akibat alih fungsi lahan dan penggundulan hutan (Koehuan, 2003).

Carruthers, dkk (1997) dalam Koehuan (2003), menggolongkan penggunaan air dalam tiga sektor utama yaitu untuk pertanian, industri dan domestik. Penggunaan air untuk pertanian di dunia rata-rata 70 persen dan di atas 90 persen pada negara-negara berkembang. Menurut Purcell (2000) dalam Koehuan (2003), pertanian menggunakan 80-90 persen dari air yang tersedia di negara-negara berkembang. Pertumbuhan penduduk, perkotaan dan pendapatan ternyata telah menimbulkan tekanan pada kebutuhan dan ketersediaan air. Pada saat yang sama, pertumbuhan penduduk berdampak pada peningkatan permintaan akan pangan. Untuk itu tantangan kedepan adalah bagaimana memproduksi pangan dengan menggunakan air yang relatif lebih sedikit (*to produce food with less water*), melalui peningkatan efisiensi pemanfaatan air, mengurangi degradasi kualitas air dan peningkatan produktifitas air untuk tanaman (Koehuan 2003; Purcell 2000; Vermillion 1997).

Sudjarwadi (1999) menyatakan bahwa dalam teknik pengelolaan sumberdaya air selain aspek fisik terdapat pula pengaruh aspek non fisik diantaranya sosial budaya yang perlu mendapat perhatian dalam upaya mengatur dinamika air baik kuantitas maupun kualitas.

Pengelolaan sumberdaya air yang dimaksudkan disini adalah peningkatan kinerja pendistribusian dan pengalokasian air secara efektif dan efisien untuk memenuhi berbagai kebutuhan air secara optimal. Pengaturan air adalah pengelolaan sumber-sumber air yang ada dalam sistem sumberdaya air

sedemikian sehingga diperoleh hasil yang terbaik/optimal dalam memenuhi kebutuhan-kebutuhan. Komponen-komponen sasaran umumnya berupa nilai kuantitas air yang merupakan kebutuhan air yang harus dipenuhi. Komponen-komponen kendala umumnya berupa keterbatasan nilai kuantitas ketersediaan air (Hapsari dkk, 1999).

Pemberian air irigasi secara tepat dan efisien memerlukan bangunan ukur debit untuk setiap saluran. Bangunan ukur debit tersebut berfungsi untuk mengetahui debit air yang melalui saluran tersebut sehingga pemberian air ke petak-petak sawah yang menjadi daerah oncoran dapat dipantau, dengan demikian diharapkan bahwa pemberian airnya tidak berlebihan ataupun kekurangan dan sesuai dengan kebutuhan air tanaman yang ada dalam petak sawah tersebut (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

Doorenbos dan Pruitt (1977) mendefinisikan kebutuhan air tanaman sebagai jumlah air yang disediakan untuk mengimbangi air yang hilang akibat evaporasi dan transpirasi. Kebutuhan air di lapangan merupakan jumlah air yang harus disediakan untuk keperluan pengolahan lahan ditambah kebutuhan air tanaman. Kebutuhan air tanaman merupakan syarat mutlak bagi adanya pertumbuhan dan produksi.

Walker (1981) dalam Marhendi (2002), melakukan penelitian terhadap cara-cara pemberian air yang dilakukan petani di Jawa barat. Menurut Walker (1981) sebagian petani di Jawa Barat masih menggunakan air irigasi secara berlebihan. Hasil penelitian yang dilakukan di lokasi Dermaga dekat Bogor dan

Sukamanah di pantai utara Jawa Barat menunjukkan bahwa sekitar 50% air irigasi terbuang percuma.

Marhendi (2002) melakukan penelitian peluang penyimpangan pemberian air irigasi daerah irigasi Kalibawang Kulon Progo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi penyimpangan pemberian air irigasi. Hal ini disebabkan kondisi Sumber Daya Manusia di lapangan yang kurang siap serta sarana dan prasarana seperti pintu air (*intake*), bendung dan beberapa sarana lain yang sudah tidak layak menjadi penyebab terjadinya penyimpangan pemberian air irigasi.

Menurut Sigit (2001) pengelolaan irigasi merupakan bagian dari sistem sosio-kultural masyarakat yang terdiri dari subsistem budaya, subsistem sosial ekonomi dan susbsistem artifak dengan teknologi termasuk didalamnya.

Al-Jayyousi, (1999) menyimpulkan bahwa Peningkatan efisiensi dalam sistem jaringan irigasi mempunyai kontribusi besar untuk penghematan air. Peningkatan efisiensi dalam sistem jaringan irigasi memperhitungkan aspek teknis, aspek kelembagaan, aspek lingkungan dan aspek ekonomi.

Universitas Gadjah Mada (2001) melakukan studi hak guna air irigasi di daerah irigasi Glapan Timur, DPS Tuntang dan daerah irigasi kalibawang, DPS Kali Progo. Dalam penelitiannya dilakukan kajian dalam berbagai aspek yaitu aspek teknis, aspek sosial ekonomi budaya, dan aspek hukum dan kelembagaan. Dalam penelitiannya terungkap bahwa secara teknis debit yang tersedia di bangunan pengambilan mencukupi untuk kebutuhan seluruh areal daerah irigasi. Namun ternyata masih ada petani yang tidak mendapatkan jatah air disebabkan

faktor non teknis seperti sosial, ekonomi dan budaya serta hukum dan kelembagaan yang bersifat sangat *local specific*.

2.4. Ketersediaan Air Irigasi

Ketersediaan air untuk keperluan irigasi secara garis besar dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu ketersediaan air di lahan dan ketersediaan air di bangunan pengambilan (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986). Ketersediaan air irigasi baik di lahan maupun di bangunan pengambilan diharapkan dapat mencukupi kebutuhan air irigasi yang diperlukan pada daerah irigasi yang ditinjau sesuai dengan luas areal dan pola tanam yang ada. Informasi ketersediaan air di bangunan pengambilan atau sungai diperlukan untuk mengetahui jumlah air yang dapat disediakan pada lahan yang ditinjau berkaitan dengan pengelolaan air irigasi

2.4.1. Ketersediaan Air di Lahan

Ketersediaan air di lahan adalah air yang tersedia di suatu lahan pertanian yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi di lahan itu sendiri. Ketersediaan air di lahan yang dapat digunakan untuk pertanian terdiri dari dua sumber, yaitu kontribusi air tanah dan hujan efektif (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

Menurut Direktorat Jenderal Pengairan (1986) kontribusi air tanah sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah, kedalaman akuifer dan jenis tanaman (kedalaman zona perakaran). Untuk daerah irigasi yang berada pada daerah akuifer dangkal, kontribusi air tanah diperoleh melalui daya kapiler tanah. Untuk

daerah yang berada pada daerah aquifer dalam kontribusi air tanah sangat kecil dan dapat dianggap bernilai nol. Dalam praktek analisis ketersediaan air irigasi, kontribusi air tanah belum diperhitungkan secara teliti.

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang secara efektif dan secara langsung dipergunakan memenuhi kebutuhan air tanaman untuk pertumbuhan. Curah hujan efektif menurut Direktorat Jenderal Pengairan (1986) diberikan sebagai berikut.

$$P = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

P = probabilitas (%),

m = nomor urut data,

n = jumlah data.

Untuk tanaman padi, curah hujan efektifnya dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$Re = 0,7 \times R_{80} \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

Re = hujan efektif tanaman padi (mm),

R₈₀ = hujan rancangan dengan probabilitas 80 % (mm).

Untuk tanaman palawija nilai hujan efektif dihitung dengan persamaan berikut.

$$Re = 0,7 \times R_{50} \dots\dots\dots(3)$$

dengan :

Re = hujan efektif tanaman palawija (mm),

R₅₀ = hujan rancangan dengan probabilitas 50 % (mm).

Hujan rancangan probabilitas R_{50} dan R_{80} dapat diketahui dengan membuat ranking data curah hujan dari yang terbesar hingga terkecil.

2.4.2. Ketersediaan Air di Bangunan Pengambilan

Ketersediaan air di bangunan pengambilan adalah air yang tersedia di suatu bangunan pengambilan yang dapat digunakan untuk mengaliri lahan pertanian melalui sistem irigasi. Untuk sistem irigasi dengan memanfaatkan air sungai, informasi ketersediaan air di sungai (debit andalan) perlu diketahui. Menurut Direktorat Jenderal Pengairan (1986), debit andalan adalah debit minimum sungai untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk irigasi. Debit minimum untuk kemungkinan terpenuhi ditetapkan 80%, yang dapat diartikan pula bahwa kemungkinan (probabilitas) debit sungai lebih rendah dari debit andalan 20%.

$$Q_{80} = Q_r + K.S \dots\dots\dots(4)$$

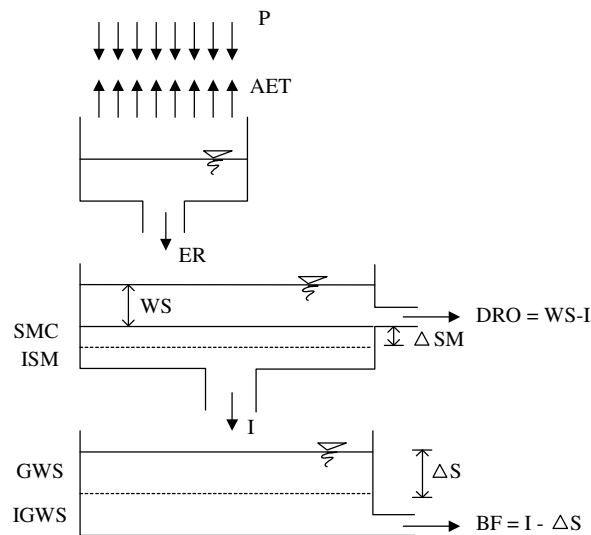
Dengan :

- Q_{80} = debit dengan probabilitas 80%,
- Q_r = debit rerata,
- K = faktor frekuensi (variabel reduksi Gauss),
- S = standar deviasi.

Prosedur analisis debit andalan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data. Untuk bangunan pengambilan yang telah tersedia bangunan pencatat debit, maka analisis ketersediaan air dapat dilakukan dengan analisis frekuensi terhadap data debit yang cukup panjang. Namun demikian, data debit biasanya jarang ditemui

ataupun kalau ada datanya tidak panjang. Sedangkan catatan data hujan relatif lebih panjang, maka diperlukan suatu proses pengalihragaman dari hujan menjadi aliran atau debit. Mock (1973) dalam Harimawan (2003) telah memperkenalkan model hujan aliran untuk diterapkan di Indonesia. Model tersebut mempunyai metode perhitungan yang relatif sederhana dan mudah penerapannya. Perhitungan dilakukan berdasarkan data curah hujan, evaporasi dan karakteristik hidrologi daerah tinjauan. Model Mock dapat menghasilkan besaran ketersediaan air di sumber air.

Mock (1973) dalam Harimawan (2003) menggambarkan secara singkat dan sederhana model hujan aliran dalam bentuk model tangki berikut :



Gambar 2.2 Skema Model Tangki Metode Mock (Sumber : Mock (1973) dalam Harimawan, 2003)

Debit simulasi diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$QRO = \frac{AxTROx1000}{30x24x3600} \dots\dots\dots(5)$$

dengan :

- P = hujan (mm),
- AET = nilai evapotranspirasi nyata (mm),
- ER = *excess rainfall* (mm),
- DRO = *direct runoff* (mm),
- WS = *water surplus* (mm),
- Δ SM = perubahan nilai kelembaban tanah (mm),
- SMC = *soil moisture capacity* (mm),
- ISM = *initial soil moisture* (mm),
- Δ S = perubahan volume air tanah,
- GWS = *ground water storage*,
- IGWS = *initial ground water storage*,
- BF = *base flow*,
- TRO = *total runoff* (mm),
- QRO = debit simulasi (m³/dtk),
- K = konstanta resesi aliran air tanah.

2.5. Kebutuhan Air Irigasi

Direktorat Jenderal Pengairan (1986) memberikan gambaran bahwa dalam penentuan kebutuhan air untuk irigasi atau air yang dibutuhkan untuk lahan pertanian didasarkan pada keseimbangan air di lahan untuk satu unit luas andalan periode biasanya periode setengah bulanan. Faktor-faktor yang menentukan

kebutuhan air untuk irigasi di sawah untuk tanaman padi menurut Direktorat Jenderal Pengairan (1986) adalah :

a) Penyiapan lahan (Ir)

Untuk menentukan kebutuhan maksimum air irigasi pada suatu proyek irigasi ditentukan oleh kebutuhan air untuk penyiapan lahan. Metode yang dikembangkan oleh Goor dan Zijlstra (1968) dalam Direktorat Jenderal Pengairan (1986) dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan air penyiapan lahan dan didasarkan pada laju konstan dalam l/dt selama periode penyiapan lahan dan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$Ir = M \left(\frac{e^k}{e^k - 1} \right) \dots\dots\dots(6)$$

dengan :

- Ir = kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan (mm/hari),
- M = kebutuhan air untuk mengganti air yang hilang akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang telah dijenuhkan
- M = $E_o + P$ (mm/hari),
- E_o = evaporasi air terbuka yang diambil 1,1 E_{to} selama penyiapan lahan (mm/hari),
- E_{to} = evapotranspirasi potensial (mm/hari),
- P = perkolasi (mm/hari),
- k = $M (T/S)$,
- T = jangka waktu penyiapan lahan (hari),
- S = air yang dibutuhkan untuk penjenuhan ditambah dengan 50 mm yakni $200 + 50 = 250$ mm,

e = konstanta = 2,71828.

Tabel 2.3 Kebutuhan Air Selama Penyiapan Lahan

Eo + P mm/hari	T = 30 hari		T = 45 hari	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,0	11,1	12,7	8,4	9,5
5,5	11,4	13,0	8,8	9,8
6,0	11,7	13,3	9,1	10,1
6,5	12,0	13,6	9,4	10,4
7,0	12,3	13,9	9,8	10,8
7,5	12,6	14,2	10,1	11,1
8,0	13,0	14,5	10,4	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8
9,0	13,6	15,2	11,2	112,1
9,5	14,0	15,5	11,6	12,5
10,0	14,3	15,8	12,0	12,9
10,5	14,7	16,2	12,4	13,2
11,0	15,0	16,5	12,8	13,6

Sumber : Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

b) Penggunaan Konsumtif (Etc)

Penggunaan konsumtif diartikan sebagai jumlah air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Doorenbos dkk., (1977) mendefinisikan kebutuhan air tanaman sebagai jumlah air yang disediakan untuk mengimbangi air yang hilang akibat evaporasi dan transpirasi. Evapotranspirasi adalah gabungan proses penguapan dari permukaan tanah atau evaporasi dan penguapan dari daun tanaman atau transpirasi. Besarnya nilai evaporasi dipengaruhi oleh iklim, varietas, jenis dan umur tanaman. Dengan memasukkan efisiensi tanaman (kc), penggunaan konsumtif tanaman merupakan fungsi dari evapotranspirasi potensial

tanaman. Menurut Direktorat Jenderal Pengairan (1986) penggunaan konsumtif dapat dihitung dengan persamaan berikut ini .

$$Etc = Eto \times kc \dots\dots\dots(7)$$

dengan :

Etc = penggunaan konsumtif (mm/hari),

Eto = evapotranspirasi potensial (mm/hari),

kc = koefisien tanaman.

Besarnya koefisien tanaman setiap jenis tanaman berbeda-beda dan berubah setiap periode pertumbuhan tanaman itu. Evapotranspirasi potensial dihitung dengan metode modifikasi Penman yang telah disesuaikan dengan keadaan daerah Indonesia dan nilai kc untuk berbagai jenis tanaman yang ditanam disajikan harga-harga koefisien tanaman padi dengan varietas unggul dan varietas biasa menurut Nedeco/Prosida dan FAO (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

Tabel 2.4 Harga Koefisien Tanaman Padi

Bulan ke	Nedeco/prosida		FAO	
	Variasi Biasa	Variasi Unggul	Variasi Biasa	Variasi Unggul
0,5	1,20	1,20	1,10	1,10
1,0	1,20	1,27	1,10	1,10
1,5	1,32	1,33	1,10	1,05
2,0	1,40	1,30	1,10	1,05
2,5	1,35	1,30	1,10	0,95
3,0	1,25	0,00	1,05	0,00
3,5	1,12	0,00	0,95	
4,0	0,00	0,00	0,00	

Sumber : Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

Tabel 2.5 Harga Koefisien Tanaman Palawija

Setengah Bulan ke	Koefisien tanaman					
	Kedelai	Jagung	Kac. tanah	Bawang	Buncis	Kapas
1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
2	0.75	0.59	0.51	0.51	0.64	0.50
3	1.00	0.96	0.66	0.59	0.89	0.58
4	1.00	1.05	0.85	0.90	0.95	0.75
5	0.82	1.02	0.95	0.95	0.88	0.91
6	0.45	0.95	0.95	-	-	1.04
7	-	-	0.55	-	-	1.05
8	-	-	0.55	-	-	1.05
9	-	-	-	-	-	1.05
10	-	-	-	-	-	0.78
11	-	-	-	-	-	0.65
12	-	-	-	-	-	0.65
13	-	-	-	-	-	0.65

Sumber : Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

Perhitungan perkiraan Evapotranspirasi potensial (Eto) dengan rumus modifikasi Penman sebagai berikut ini (Doorenbos dkk, 1977; Harto, 2000).

$$Eto = c(w R_n) + (1-w)f(u)(E_a - E_d) \dots\dots\dots(8)$$

dengan :

Eto = Evapotranspirasi (mm/hari),

w = faktor yang berhubungan dengan suhu (t) dan elevasi daerah,

R_s = radiasi gelombang pendek (mm/hari)

$$R_s = \left(0.25 + 0.58 \frac{n}{N} \right) R_a$$

R_a = radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer (angka angot),

R_{n1} = radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari),

$$R_{nl} = \left(0.25 + 0.50 \frac{n}{N}\right) R_a \text{ (mm/hari)}$$

R_n = total radiasi bersih (mm/hari),

$$R_n = R_s - R_{nl}$$

$f(t)$ = fungsi suhu/konstanta bolzman

$$f(t) = \sigma \cdot T_a^4 (\text{°C}),$$

$f(E_d)$ = fungsi tekanan uap/faktor kelembaban

$$f(E_d) = 0.34 - 0.044 \sqrt{(E_d)}$$

$$f\left(\frac{n}{N}\right) = 0.1 + 0.9 \left(\frac{n}{N}\right)$$

$f(u)$ = fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2 m

$$f(u) = 0,27(1+0,864u) \text{ (m/detik),}$$

$(E_a - E_d)$ = perbedaan tekanan uap jenuh dengan uap sebenarnya,

$$E_d = E_a \cdot R_h,$$

R_h = kelembaban udara relatif (%),

c = angka koreksi Penman yang besarnya melihat kondisi siang dan malam.

c) Perkolasi dan Rembesan (P)

Laju perkolasi sangat tergantung pada sifat-sifat tanah. Guna menentukan laju perkolasi, tinggi muka air tanah juga harus diperhitungkan. Perembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah. Perkolasi dan rembesan di sawah berdasarkan Direktorat Jenderal Pengairan (1986), yaitu sebesar 2 mm/hari.

d) Penggantian Lapisan Air (Wlr)

Penggantian lapisan air dilakukan sebanyak dua kali, masing-masing 50 mm selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi atau pemindahan bibit

(Direktorat Jenderal Pengairan, 1986). Lama pengolahan lahan sawah dilakukan kurang lebih 20-30 hari baik dengan tenaga kerbau atau traktor. Sehingga lama pengolahan lahan sawah diasumsikan selama 30 hari. Banyaknya air yang dibutuhkan oleh tanaman palawija sebesar 50-100 mm. Pemberian air untuk tanaman padi yang sering dilaksanakan (Sukamto, 1983) :

1. Padi umur 0 - 14 hari setelah tanam diberikan air setinggi 7-10 cm, diasumsikan 10 cm.
2. Pada umur 15 - 30 hari setelah tanam sawah digenangi air setinggi 3 - 5 cm, diasumsikan 5 cm.
3. Pada umur 35 - 50 air digenangi 5 – 10 cm diasumsikan 15 hari pertama 5 cm dan 15 hari kedua 10 cm.
4. Pada umur 55 hari sampai dengan 10 hari sebelum panen, sawah digenangi 10 cm.

e) Efisiensi Irigasi (Ei)

Efisiensi irigasi adalah angka perbandingan dari jumlah air irigasi nyata yang terpakai untuk kebutuhan pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang keluar dari pintu pengambilan (*intake*). Efisiensi irigasi merupakan faktor penentu utama dari unjuk kerja suatu sistem jaringan irigasi. Efisiensi irigasi terdiri atas efisiensi pengaliran yang pada umumnya terjadi di jaringan utama dan efisiensi di jaringan sekunder yaitu dari bangunan pembagi sampai petak sawah (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

Efisiensi irigasi didasarkan asumsi sebagian dari jumlah air yang diambil akan hilang baik di saluran maupun di petak sawah. Kehilangan air yang

diperhitungkan untuk operasi irigasi meliputi kehilangan air di tingkat tersier, sekunder dan primer. Besarnya masing-masing kehilangan air tersebut dipengaruhi oleh panjang saluran, luas permukaan saluran, keliling basah saluran dan kedudukan air tanah. Mengacu pada Direktorat Jenderal Pengairan (1986) maka efisiensi irigasi secara keseluruhan diambil 90% dan tingkat tersier 80%. Angka efisiensi irigasi keseluruhan tersebut dihitung dengan cara mengkonversi efisiensi di masing-masing tingkat yaitu $0,9 \times 0,9 \times 0,8 = 0,648 \approx 65 \%$.

Secara matematis hubungan faktor-faktor yang menentukan kebutuhan air irigasi di atas dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$K_{ai} = \frac{(Etc + Ir + Wlr + P - Re)}{Ei} \times A \dots\dots\dots(9)$$

dengan :

K_{ai} = kebutuhan air untuk irigasi (l/dtk/ha),

Etc = penggunaan air konsumtif (mm/hari),

Ir = kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari),

Wlr = kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (mm/hari),

P = kehilangan air perkolasi (mm/hari),

Re = curah hujan efektif (mm/hari),

Ei = efisiensi irigasi,

A = luas areal irigasi (ha).

2.6. Teknik Optimasi

Penggunaan model matematik sebagai alat analisis dapat memanfaatkan sumber daya air secara optimal merupakan cara yang telah umum dipakai. Kini bahkan berbagai pendekatan alat dan metode kuantitatif tersedia untuk menganalisis proyek-proyek keairan secara ekonomi. Metode kuantitatif yang digunakan untuk membantu manajemen dalam menganalisis pengoperasian sebuah proyek adalah metode-metode yang didasarkan pada pendekatan optimasi. Prinsip metode optimasi adalah dengan mengoptimumkan suatu fungsi tujuan (*objective function*) terhadap kendala-kendala (*constrain*) (Jayadi, 2000).

Program linier merupakan salah satu teknik optimasi yang tergabung dalam *mathematical programing*. Menurut Jayadi (2000) bahwa prosedur umum penyelesaian *mathematical programing* diawali dengan mendefinisikan komponen persoalan berikut:

- a. *Decision variable* : sebagai besaran yang akan dicari nilainya;
- b. *Parameters* : ukuran-ukuran bernilai tetap dan dapat diterapkan dalam perhitungan seperti harga, biaya, benefit dan lain-lain;
- c. *Constrain* : sebagai faktor pembatas/kendala yang perlu dirumuskan secara matematik;
- d. *Objectif function* : adalah pernyataan kuantitatif dari kasus optimasi.

Dumairy (1992) berpendapat bahwa dalam program linier memiliki tiga unsur dasar yaitu fungsi tujuan, fungsi kendala, dan prosedur iteratif untuk menemukan penyelesaian optimum. Persamaan yang dapat diselesaikan dengan menggunakan program linier adalah untuk tujuan mengoptimalkan dengan

keterbatasan sumber daya yang dinyatakan dalam persamaan (=) atau pertidaksamaan (</>).

Apabila X_i adalah luas areal tanam untuk masa tanam i , maka fungsi tujuan (*objective function*) untuk masalah ini adalah :

$$\text{Maksimum } Z = \sum_{i=1}^n c_i * L_i \dots\dots\dots(10)$$

dengan :

Z = fungsi tujuan maksimum luas tanaman,

L_i = luas areal tanam ke i ,

n = jumlah alternatif masa tanam,

C_i = faktor pembobot untuk variabel optimasi.

$$C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i = 1$$

Dalam mengoptimalkan luas areal tanam tentunya ada beberapa kendala yang harus diperhatikan. Salah satu kendala yang harus diperhatikan adalah bahwa jumlah kebutuhan air irigasi untuk suatu masa tanam tertentu dalam waktu tertentu pula harus lebih kecil atau sama dengan debit yang tersedia pada waktu itu. Kendala lain adalah bahwa luas suatu masa tanam tertentu harus lebih kecil atau sama dengan luas areal irigasi. Setelah ditambah dengan fungsi non negatifitas maka secara matematis (Dumairy, 1992) dapat dituliskan :

Fungsi kendala

$$a) \sum_{i=1}^n q_{it} * L_i \leq Q_t \dots\dots\dots(11)$$

$$t = 1,2,3\dots$$

$$b) \sum_{i=1}^n Li \leq A \dots\dots\dots(12)$$

$$c) Li \geq 0 \dots\dots\dots(13)$$

$$qn \geq 0$$

dengan :

qn = kebutuhan air irigasi untuk masa tanam ke i pada bulan t (l/det/ha),

qt = debit tersedia pada bulan ke t (l/det/ha),

A = luas areal irigasi (ha),

Li = luas areal pada masa tanam ke i ,

Qt = debit tersedia pada bulan t (l/dtk).