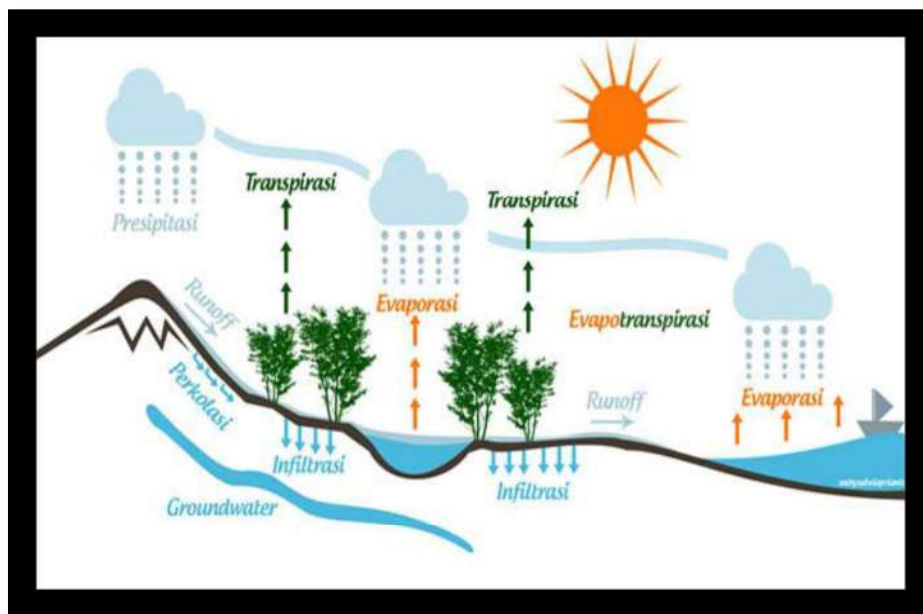


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Siklus Hidrologi

Ketersediaan air di daratan bumi dapat tetap terjaga karena adanya hujan. Hujan terjadi karena adanya suatu mekanisme alam yang berlangsung secara siklus dan terus menerus. Dalam pengaturan penyebaran air di daratan bumi, mekanisme alam yang dimaksud tersebut dikenal dengan istilah siklus hidrologi atau siklus air. Siklus hidrologi adalah salah satu dari 6 siklus biogeokimia yang berlangsung di bumi. Siklus hidrologi adalah suatu siklus atau sirkulasi air dari bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi yang berlangsung secara terus menerus (Wilson, 1990). Siklus hidrologi memegang peran penting bagi kelangsungan makhluk hidup bumi. Melalui siklus ini, ketersediaan air di daratan bumi dapat tetap terjaga, mengingat teraturnya suhu lingkungan, cuaca, hujan, dan keseimbangan ekosistem bumi dapat tercipta karena proses siklus hidrologi ini.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

Air laut menguap akibat dari penyinaran matahari, dan awan uap air bergerak melewati daratan. Pencurahan terjadi berupa salju, butiran es dan hujan

diatas daratan, dan air pun mulai kembali ke laut. Salju dan butiran es adalah simpanan air sementara. Hujan yang terjadi di permukaan diserap oleh tumbuhan dan menguap kembali ke udara. Sebagian air dari hujan ada yang meresap ke tanah dan bergerak ke bawah atau masuk kedalam jalur air tanah.

Air dalam jalur ini perlahan-lahan melalui lapisan pembawa air ke alur sungai atau kadang kadang langsung ke laut. Air yang ada di bawah tanah memberikan energi kehidupan untuk tumbuhan yang ada di permukaan.

Air yang tertinggal di permukaan ada sebagian yang menguap kembali tetapi sebagian besar masuk kedalam alur sungai. Permukaan sungai dan danau pun menguap dan makin banyak lagi dipindahkan dari alur sungai menuju ke laut. Air tanah, bergerak lebih perlahan lahan, kemungkinan masuk ke dalam air sungai di dekat garis pantai dan merembes ke laut. Dan seluruh siklus ini pun berulang lagi.

2.2 Data Hujan

Pengumpulan data hujan bermaksud untuk Analisis curah hujan yang bertujuan:

- 1) Curah hujan efektif untuk menghitung kebutuhan irigasi. Curah hujan efektif atau andalan adalah bagian dari keseluruhan curah hujan yang secara efektif tersedia untuk kebutuhan air tanaman.
- 2) Curah hujan lebih (excess rainfall) dipakai untuk menghitung kebutuhan pembuangan/drainase dan debit (banjir).

Untuk analisis curah hujan efektif, curah hujan di musim kemarau dan penghujan akan sangat penting artinya. Untuk curah hujan lebih, curah hujan di musim penghujan (bulan-bulan turun hujan) harus mendapat perhatian tersendiri. Untuk kedua tujuan tersebut data curah hujan harian akan dianalisis untuk mendapatkan tingkat ketelitian yang dapat diterima. Data curah hujan harian yang meliputi periode sedikitnya 10 tahun akan diperlukan.

2.3 Data Iklim

Data-data iklim yang diperlukan untuk perhitungan ini adalah yang berkenaan dengan :

- 1) Temperatur : harian maksimum, minimum dan rata-rata

- 2) Kelembapan relatif
- 3) Sinar matahari : lamanya dalam sehari
- 4) Angin : kecepatan dan arah
- 5) Evaporasi : catatan harian

Data-data klimatologi di atas adalah standar bagi stasiun-stasiun agrometeorologi. Jangka waktu pencatatan untuk keperluan analisis yang cukup tepat dan andal adalah minimal 10 tahun atau lebih hal ini dapat mempengaruhi dalam perhitungan rata-rata iklim. Data data ini digunakan untuk perhitungan evapotranspirasi.

2.4 Pengolahan Data Hujan

Hujan berperan dalam memenuhi kebutuhan air bagi tanaman. Selama musim hujan sebagian besar kebutuhan air tanaman dipenuhi oleh hujan dan pada musim kering dipenuhi oleh kebutuhan air irigasi. Hujan dalam tahun basah, tahun normal dan tahun kering merupakan hujan andalan, yaitu hujan dengan kemungkinan terlampaui 20% untuk tahun basah, 50% tahun normal dan 80% untuk tahun kering. Ketiga nilai tersebut berguna untuk merencanakan pemberian air irigasi. Hujan yang terjadi pada suatu wilayah akan mengalami proses infiltrasi. infiltrasi merupakan air yang diterima permukaan bumi jika permukaannya tidak kedap air, dapat bergerak ke dalam tanah dengan gaya gerak gravitasi dan kapiler dalam suatu aliran. Faktor-faktor yang mempengaruhi infiltrasi adalah karakteristik hujan, kondisi permukaan tanah, kondisi penutupan permukaan dan karakteristik air yang terinfiltrasi.

Hujan efektif adalah bagian hujan yang secara efektif digunakan oleh tanaman setelah beberapa hilang karena limpasan permukaan dan perkolasi. Hujan efektif ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman. Pemahaman mengenai hujan sangat diperlukan agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang secara optimal. Pada saat terjadi hujan, air yang jatuh tidak semua dimanfaatkan oleh tanaman. Hujan yang jatuh hanya sebagian yang terserap tanaman disebut hujan efektif dan sisanya terbuang dalam bentuk penguapan, perkolasi atau limpasan.

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang secara efektif dan secara langsung dipergunakan memenuhi kebutuhan air tanaman untuk pertumbuhan.

Untuk irigasi padi, curah hujan efektif bulanan diambil dari analisis curah hujan efektif didasarkan pada 70 % curah hujan tengah bulanan periode ulang 5 tahun atau kemungkinan terpenuhi 80 %. Dapat dirumuskan dengan Persamaan 2 berikut.

$$Re = 0,7 \times \frac{1}{15} R_{(80)} \quad \text{.....2.1}$$

Dengan :

Re : curah hujan efektif (mm/hari),

R(80) : curah hujan minimum tengah bulanan dengan kemungkinan terpenuhi 80% (mm/15 hari).

Dan untuk analisis rata-rata curah hujan pada daerah irigasi Bendung Mrican menggunakan metode Rata-rata Aljabar (Arithmetic Mean Method). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} \quad \text{.....2.2}$$

Dengan :

d = tinggi curah hujan rata-rata areal

d₁, d₂, d₃, ..., d_n = tinggi curah hujan pada stasiun penakar hujan

n = banyaknya stasiun penakar hujan

2.5 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah penguapan air keseluruhan yang terjadi di seluruh permukaan bumi, baik yang terjadi pada badan air dan tanah, maupun pada jaringan makhluk hidup. Evapotranspirasi merupakan gabungan antara evaporasi dan transpirasi. Dalam siklus hidrologi, laju evapotranspirasi ini sangat mempengaruhi jumlah uap air yang terangkut ke atas permukaan atmosfer.

Analisis mengenai evaporasi diperlukan untuk menentukan besarnya evapotranspirasi tanaman yang kelak akan dipakai untuk menghitung kebutuhan air irigasi dan, kalau perlu untuk studi neraca air di daerah aliran sungai. Studi ini mungkin dilakukan bila tidak tersedia data aliran dalam jumlah yang cukup.

Data-data iklim yang diperlukan untuk perhitungan ini adalah yang berkenaan dengan :

- 1) Temperatur : harian maksimum, minimum dan rata-rata

- 2) Kelembapan relatif
- 3) Sinar matahari : lamanya dalam sehari
- 4) Angin : kecepatan dan arah
- 5) Evaporasi : catatan harian

Salah satu metode yang digunakan untuk menghitung Evapotranspirasi adalah dengan metode Penmann. Metode ini memerlukan input data meteorologi berupa : temperatur, kelembapan udara, radiasi matahari dan kecepatan angin. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung Eto dengan metode Penmann adalah sebagai berikut :

$$Eto = C.[W.Rn + (1-W)(f(u)(ea-ed)] \quad \text{.....2.3}$$

Dimana :

- Eto = evapotranspirasi (mm/hari)
- W = faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari
- C = faktor penyesuaian kondisi cuaca akibat siang dan malam
- (1-W) = faktor berat sebagai pengaruh angin dan kelembapan udara
- Rn = radiasi penyinaran matahari (mm/hari)
- f(u) = faktor yang tergantung dari kecepatan angin / fungsi relatif angin
- ea = tekanan uap jenuh (mbar)
- ed = tekanan uap nyata (mbar)
- (ea-ed) = perbedaan antara tekanan uap jenuh pada suhu rata-rata dan tekanan uap rata-rata actual (mbar)

Besarnya evapotranspirasi tanaman ada beberapa tahap harus dilakukan, yaitu menduga evapotranspirasi acuan; menentukan koefisien tanaman kemudian memperhatikan kondisi lingkungan setempat; seperti variasi iklim setiap saat, ketinggian tempat, luas lahan, air tanah tersedia, salinitas, metode irigasi, dan budidaya pertanian.

ET₀ kemudian ditemukan dari ET₀ lewat penyesuaian untuk keadaan cuaca siang dalam hari. Biasanya disajikan secara grafik untuk berbagai keadaan angin dan kelembapan yang berbeda-beda.

Setelah ditentukan sebuah nilai ET₀ kebutuhan air untuk tanaman ET_(tan) ditemukan dari :

$$ET_{(tan)} = kc \times ET_0 \quad \text{.....2.4}$$

Disini k_c adalah koefisien tanaman, menggambarkan hasil penguapapan tanaman tertentu yang tumbuh dalam keadaan optimum (bagi iklim dan letaknya) dan memberi hasil optimum.

Metode Penman Modifikasi memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode-metode yang lain. Sedang metode Panci Evaporasi lebih banyak digunakan karena mudah dilakukan di tingkat sawah. (Wilson, 1993)

Perhitungan ET_0 dengan menggunakan persamaan Penman Modifikasi, dilakukan dengan menyelesaikan persamaan sebagai berikut (Dinas PU KP-01,1986) :

$$ET_0 = c\{W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)\} \quad \text{.....2.5}$$

$$R_n = R_{ns} - R_{n1} \quad \text{.....2.6}$$

$$R_{ns} = \{(0,25 + 0,50 (n/N))\} \cdot R_a \quad \text{.....2.7}$$

$$R_{n1} = f(T) \cdot f(e_d) \cdot f(n/N) \quad \text{.....2.8}$$

$$f(e_d) = 0,34 - 0,044 \cdot e_d \cdot 0,5 \quad \text{.....2.9}$$

$$f(n/N) = 0,10 + 0,9 (n/N) \quad \text{.....2.10}$$

$$f(u) = 0,27 \{1 + (u/100)\} \quad \text{.....2.11}$$

Dimana :

ET_0 = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)
 R_a = Radiasi matahari (mm/hari)
 n = Rata-rata lama cahaya matahari yang sebenarnya (jam/hari)
 N = Lama matahari maksimum yang mungkin (jam/hari)
 n/N = Presentasi penyinaran matahari (%)
 $f(u)$ = Faktor kecepatan angin (Km/jam)
 W = Faktor temperatur
 $f(T)$ = Pengaruh temperatur
 R_n = Kelembaban relatif (%)
 e_d = Tekanan uap udara dalam keadaan jenuh (mm/Hg)
 e_a = Tekanan uap udara pada temperatur rata-rata (mm/Hg).

Berikut data-data terukur untuk perhitungan evaporasi potensial metode Penman Modifikasi, yaitu :

1. T, temperatur/suhu bulanan rerata ($^{\circ}\text{C}$)
2. RH, kelembaban relatif bulanan rerata (%)

3. n/N , kecerahan matahari bulanan rerata (%)
4. U , kecepatan angin bulanan rerata (m/detik)
5. LL , letak lintang daerah yang ditinjau
6. c , angka koreksi Penman

Tabel 2.1 Harga Faktor (1-W) Karena Pengaruh Kecepatan Angin dan Kelembaban pada Temperatur dan Ketinggian yang Berbeda

(1-W) pada Ketinggian	0	500	1000	2000	3000
2	0,57	0,56	0,54	0,51	0,48
4	0,54	0,56	0,51	0,48	0,45
6	0,51	0,52	0,48	0,45	0,42
8	0,46	0,49	0,45	0,42	0,39
10	0,45	0,46	0,42	0,39	0,36
12	0,42	0,43	0,39	0,36	0,34
14	0,39	0,40	0,36	0,34	0,31
16	0,36	0,38	0,34	0,31	0,29
18	0,34	0,35	0,31	0,29	0,27
20	0,31	0,33	0,29	0,27	0,25
22	0,29	0,30	0,27	0,25	0,23
24	0,27	0,28	0,25	0,23	0,21
26	0,25	0,26	0,23	0,21	0,19
28	0,23	0,24	0,21	0,19	0,18
30	0,22	0,22	0,2	0,18	0,16
32	0,2	0,21	0,18	0,16	0,15
34	0,18	0,19	0,17	0,15	0,14
36	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
38	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12

Sumber : *Crop Water Requirements, Food And Agricultur Organization, Revised 1973*

Tabel 2.2 Harga Faktor W untuk Pengaruh Radiasi pada Temperatur dan Ketinggian yang Berbeda

Temp. (°C)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
W pada El. (m)																			
0	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84
500	0,44	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,80	0,84	0,85
1000	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86
2000	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87
3000	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

Sumber : Crop Water Requirements, Food And Agriculture Organization, Revised 1973

Tabel 2.3 Lamanya Penyinaran Matahari Rata-rata Maksimum (N) yang Mungkin Terjadi untuk Bulan dan Garis Lintang yang Berbeda

LS	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
30	10,40	11,10	12,00	12,90	13,60	14,00	13,90	13,20	12,40	11,50	10,60	10,20
25	11,00	11,50	12,00	12,70	13,30	13,70	13,50	13,00	12,30	11,60	10,90	10,60
20	11,30	11,60	12,00	12,60	13,10	13,30	13,20	12,80	12,30	11,70	11,30	10,90
15	11,30	11,60	12,00	12,50	12,80	13,00	12,90	12,60	12,20	11,80	11,40	11,20
10	11,60	11,80	12,00	12,30	12,60	12,70	12,60	12,40	12,10	11,80	11,60	11,50
5	11,80	11,90	12,00	12,20	12,20	12,40	12,30	12,30	12,10	12,00	11,90	11,80
0	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00

Sumber : Crop Water Requirements, Food And Agriculture Organization, Revised 1973

Tabel 2.4 Tekanan Uap Air (ea) dalam mbar Suhu Udara Rata-rata

Temp.(°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

ea (mbar)	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,7	9,3	10,0	10,7	11,5	12,3	13,1	14,0	15,0	16,1	17,0	18,2	19,4	20,6	22,0
Temp.(°C)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
ea (mbar)	23,4	24,9	26,4	28,1	29,8	31,7	33,6	35,7	37,8	40,1	42,2	44,9	47,6	50,3	53,2	56,2	59,4	62,8	66,3	69,9

Sumber : Crop Water Requirements, Food And Agricultur Organization, Revised 1973

Tabel 2.5 Pengaruh Tekanan Jenuh Uap Air (ed) pada Radiasi Gelombang Panjang (Rn1)

ed	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
f (ed)	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,80	0,80

Sumber : Crop Water Requirements, Food And Agricultur Organization, Revised 1973

Tabel 2.6 Pengaruh Temperatur f(T) pada Radiasi Gelombang Panjang (Rn1)

Temp.(°C)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
f (T)	11,0	11,4	11,7	12,0	12,4	12,7	13,1	13,5	13,8	14,2	14,6	15,0	15,4	15,9	16,3	16,7

Sumber : Crop Water Requirements, Food And Agricultur Organization, Revised 1973

Tabel 2.7 Pengaruh f(n/N) pada Radiasi Gelombang Panjang (Rn1)

n/N	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
f (n/N)	0,10	0,15	0,19	0,24	0,28	0,33	0,37	0,42	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69	0,73	0,78

n/N	0,80	0,85	0,90	1,00	10,00
f (n/N)	0,82	0,86	0,91	0,95	1,00

Sumber : Crop Water Requirements, Food And Agriculture Organization, Revised 1973

Tabel 2.8 Faktor perkiraan nilai c pada persamaan Penman

	RH max = 30 %				RH max = 60 %				RH max = 90 %			
Rs mm/hari	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Uday m/dt	Uday/Unight = 4.0											
	Uday/Unight = 2.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.90	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.69	0.76	0.85	0.92	0.83	0.91	0.99	1.05	0.89	0.98	1.10	1.14
6	0.53	0.61	0.74	0.84	0.70	0.80	0.94	1.02	0.79	0.92	1.05	1.12
9	0.37	0.48	0.65	0.76	0.59	0.70	0.84	0.95	0.71	0.81	0.96	1.06
	Uday/Unight = 2.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.90	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.64	0.71	0.82	0.89	0.78	0.86	0.94	0.99	0.85	0.92	1.01	1.05
6	0.43	0.53	0.68	0.79	0.62	0.70	0.84	0.93	0.72	0.82	0.95	1.00
9	0.37	0.41	0.59	0.70	0.50	0.60	0.75	0.87	0.62	0.72	0.87	0.96

Sumber : Crop Water Requirements, Food And Agriculture Organization, Revised 1973

2.6 Debit Andalan

Untuk penentuan debit andalan ada 3 metode analisis yang dapat dipakai, yaitu :

- 1) Analisis frekuensi data debit,
- 2) Neraca air,
- 3) Pengamatan lapangan.

Debit andalan pada umumnya dianalisis sebagai debit rata – rata untuk periode tengah-bulanan. Kemungkinan tak terpenuhi ditetapkan 20% (kering) untuk menilai tersedianya air berkenaan dengan kebutuhan pengambilan (diversion requirement). Dalam menghitung debit andalan harus mempertimbangkan air yang diperlukan di hilir pengambilan. Namun apabila data hidrologi tidak ada maka perlu ada suatu metode lain sebagai pembanding. akan lebih baik jika tersedia catatan debit yang mencakup jangka waktu 10 tahun atau lebih. Dalam prakteknya hal ini sulit dipenuhi. Catatan debit biasanya didasarkan pada catatan tinggi muka air di tempat-tempat pengukuran debit di sungai. Muka air harian dikonversi menjadi debit dengan menggunakan hubungan antara tinggi muka air – debit (kurve Q-h). Kurva ini harus dicek secara teratur dengan memperhatikan perubahan-perubahan yang mungkin terjadi di dasar sungai. Rata-rata tengah-bulanan dihitung dari harga-harga debit harian.

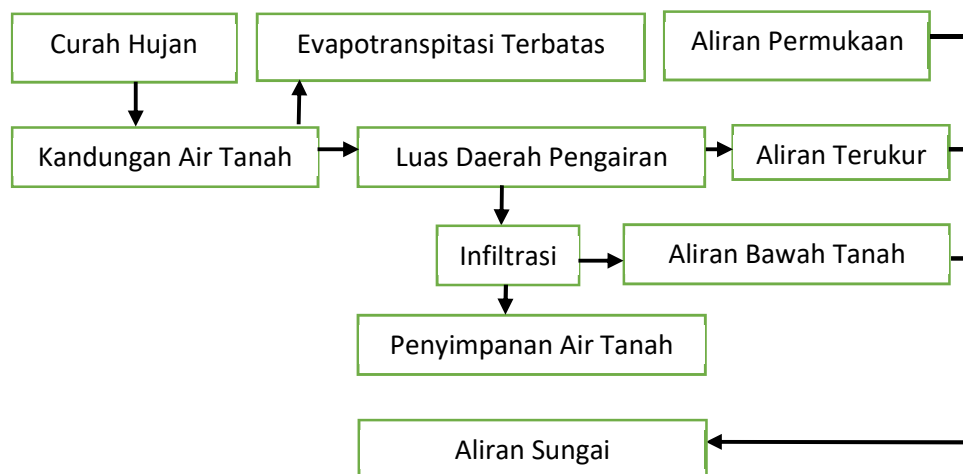
Analisis frekuensi akan dilakukan untuk setiap setengah-bulanan dengan menggunakan rata-rata tengah-bulanan yang telah dihitung tersebut. Frekuensi distribusi normal bisa mulai dihitung untuk harga – harga plotting di atas kertas logaritmis. Sebelum memulai menganalisis data debit, kurva/lengkung debit, metode– metode penghitungan dan pengukuran debit akan diperiksa. Tempat-tempat pengukuran di sungai akan dikunjungi, pengoperasiannya diperiksa dan keadaan dasar sungai diperiksa untuk mengetahui apakah ada kemungkinan terjadinya perubahan akibat aggradasi atau degradasi dan penggerusan selama banjir. Data tinggi muka air akan diperiksa secara visual dan grafis akan dicek keandalannya. Bandingkan curah hujan rata-rata di daerah aliran sungai dengan debit rata-rata tahunan dan perkiraan kehilangan rata-rata tahunan. Gunakan harga-harga kehilangan rata-rata tahunan untuk membuat perbandingan antara curah hujan tahunan di daerah aliran sungai dengan debit tahunan. Selidiki

perkembangan–perkembangan yang terjadi di daerah aliran sungai dan di sungai di sebelah hulu tempat-tempat pengukuran yang mungkin telah mempengaruhi debit sungai. Pengembangan irigasi di hulu akan mempengaruhi aliran yang lebih rendah di tempat-tempat pengukuran di hilir; catatan debit akan dikoreksi.

2.6.1 Ketersediaan Air Dengan Metode Mock

Potensi ketersediaan air dalam metode ini berdasarkan analisa data curah hujan, klimatologi, topografi serta faktor pendukung lain dengan mengukur debit andalan yang dapat direncanakan untuk mengairi areal irigasi dengan luasan tertentu. Debit andalan merupakan debit minimum rata-rata tengah bulanan. Debit minimum rata-rata tengah bulanan didasarkan pada debit minimum rata-rata tengah bulanan untuk kemungkinan dapat terpenuhinya 20% kebutuhan. Sebagai harga praktis dalam praktek dapat diandaikan kehilangan debit sebesar 10%.

Untuk menghitung besar debit andalan dengan menggunakan metode “Mock” adalah sebagai berikut : Metode Mock memperhitungkan data curah hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran sungai. Hasil dari permodelan ini dapat dipercaya jika ada debit pengamatan sebagai pembanding. Oleh karena keterbatasan data di daerah studi maka proses pembandingan akan dilakukan terhadap catatan debit di stasiun pengamat muka air.



Gambar 2.2 Skema Simulasi Debit Metode Mock

Data dan asumsi yang diperlukan untuk perhitungan metode Mock adalah sebagai berikut:

1) Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan harian (minimal 10 tahun). Stasiun curah hujan yang dipakai adalah stasiun yang dianggap mewakili kondisi hujan di daerah tersebut.

2) Evapotranspirasi Terbatas (Et)

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi actual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta frekuensi curah hujan. Untuk menghitung evapotranspirasi terbatas diperlukan data:

- a) Curah hujan harian (P)
- b) Jumlah hari hujan (n)
- c) Jumlah permukaan kering 10 harian (d) dihitung dengan asumsi bahwa tanah dalam suatu hari hanya mampu menahan air 12 mm dan selalu menguap sebesar 4 mm.
- d) *Exposed surface* (m%) ditaksir berdasarkan peta tata guna lahan atau dengan asumsi:

m = 0% untuk lahan dengan hutan lebat

m = 0% pada akhir musim hujan dan bertambah 10% setiap bulan kering untuk lahan sekunder.

m = 10% - 40% untuk lahan yang tererosi.

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian yang diolah.

Secara matematis evapotranspirasi terbatas dirumuskan sebagai berikut :

$$Et = Ep - E \quad \text{.....2.12}$$

$$E = Ep \times \left(\frac{m}{20}\right) \times (18 - n) \quad \text{.....2.13}$$

Dengan:

E = Beda antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi terbatas (mm)

Et = Evapotranspirasi terbatas (mm)

Ep = Evapotranspirasi potensial (mm)

m = singkapan lahan (*Exposed surface*)

n = jumlah hari hujan

3) Faktor Karakteristik Hidrologi

Faktor Buka Lahan

m = 0% untuk lahan dengan hutan lebat

m = 10 - 40% untuk lahan tererosi

m = 30 - 50% untuk lahan pertanian yang diolah.

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan untuk seluruh daerah studi yang merupakan daerah lahan pertanian yang diolah dan lahan tererosi maka dapat diasumsikan untuk faktor m diambil 30%.

4) Luas Daerah Pengaliran

Semakin besar daerah pengaliran dari suatu aliran kemungkinan akan semakin besar pula ketersediaan debitnya.

5) Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)

Soil Moisture Capacity adalah kapasitas kandungan air pada lapisan tanah permukaan (surface soil) per m². Besarnya SMC untuk perhitungan ketersediaan air ini diperkirakan berdasarkan kondisi porositas lapisan tanah permukaan dari DPS. Semakin besar porositas tanah akan semakin besar pula SMC yang ada. Dalam perhitungan ini nilai SMC diambil antara 50 mm sampai dengan 200 mm. Persamaan yang digunakan untuk besarnya kapasitas kelembaban tanah adalah:

$$SMC_{(n)} = SMC_{(n-1)} + IS_{(n)} \quad \text{.....2.14}$$

$$Ws = As - IS \quad \text{.....2.15}$$

keterangan:

SMC = Kelembaban tanah

SMC_(n) = Kelembaban tanah periode ke n

SMC_(n-1) = Kelembaban tanah periode ke n-1

IS = Tampungan awal (*initial storage*) (mm)

As = Air hujan yang mencapai permukaan tanah

6) Keseimbangan air di permukaan tanah

Keseimbangan air di permukaan tanah dipengaruhi oleh factor-faktor sebagai berikut:

Air hujan

Kandungan air tanah (*soil storage*)

Kapasitas kelembaban tanah (SMC)

Air Hujan (As)

Air hujan yang mencapai permukaan tanah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$As = P - Et \quad \text{.....2.16}$$

keterangan:

As = air hujan yang mencapai permukaan tanah

P = curah hujan bulanan

Et = Evapotranspirasi

7) Kandungan air tanah

Besar kandungan tanah tergantung dari harga As. Bila harga As negatif, maka kapasitas kelembaban tanah akan berkurang dan bila As positif maka kelembaban tanah akan bertambah.

8) Aliran dan Penyimpangan Air Tanah (*run off dan Ground water storage*)

Nilai run off dan ground water tergantung dari keseimbangan air dan kondisi tanahnya.

9) Koefisien Infiltrasi

Koefisien nilai infiltrasi diperkirakan berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan DPS. Lahan DPS yang porous memiliki koefisien infiltrasi yang besar. Sedangkan lahan yang terjadi memiliki koefisien infiltrasi yang kecil, karena air akan sulit terinfiltrasi ke dalam tanah. Batasan koefisien infiltrasi adalah 0 – 1.

10) Faktor Resesi Aliran Tanah (k)

Faktor Resesi adalah perbandingan antara aliran air tanah pada bulan ke n dengan aliran air tanah pada awal bulan tersebut. Faktor resesi aliran tanah dipengaruhi oleh sifat geologi DPS. Dalam perhitungan ketersediaan air metode FJ Mock, besarnya nilai k didapat dengan cara coba-coba sehingga dapat dihasilkan aliran seperti yang diharapkan.

11) *Initial Storage* (IS)

Initial Storage atau tampungan awal adalah perkiraan besarnya volume air pada awal perhitungan. IS di lokasi studi diasumsikan sebesar 100 mm.

12) Penyimpangan air tanah (*Ground Water Storage*)

Penyimpangan air tanah besarnya tergantung dari kondisi geologi setempat dan waktu. Sebagai permulaan dari simulasi harus ditentukan penyimpanan awal (*initial storage*) terlebih dahulu. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan penyimpanan air tanah adalah sebagai berikut:

$$V_n = k \times V_{n-1} + 0.5 (1 + k) I \quad \text{.....2.17}$$

$$V_n = V_n - V_{n-1} \quad \text{.....2.18}$$

Dimana:

V_n = Volume air tanah periode ke n

k = q_t/q_o = factor resesi aliran tanah

q_t = aliran air tanah pada waktu periode ke t

q_o = aliran air tanah pada awal periode (periode ke 0)

v_{n-1} = volume air tanah periode ke (n-1)

v_n = perubahan volume aliran air tanah

13) Aliran Sungai

Aliran Dasar = Infiltrasi – Perubahan aliran air dalam tanah

Aliran permukaan = volume air lebih – infiltrasi

Aliran sungai = aliran permukaan + aliran dasar

$$Debit\ andalan = \frac{Aliran\ Sungai \times Luas\ DAS}{1\ Bulan\ Dalam\ Detik} \dots\dots\dots 2.19$$

Air yang mengalir di sungai merupakan jumlah dari aliran langsung (*direct run off*). aliran dalam tanah (*interflow*) dan aliran tanah (*base flow*).

Besarnya masing-masing aliran tersebut adalah:

Interflow = *infiltrasi* – volume air tanah

Direct run off = *water surplus* – *infiltrasi*

Base flow = aliran yang selalu ada sepanjang tahun

Run off = *interflow* + *direct run off* + *base flow*.

2.7 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan konsumtif tanaman yang terjadi pada petak sawah dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah. Kebutuhan air irigasi di sawah meliputi :

- 1) Penggunaan konsumtif
- 2) Penyiapan lahan
- 3) Perkolasi
- 4) Penggantian lapisan air
- 5) Curah hujan efektif

2.7.1 Penggunaan Konsumtif

Pada KP-01 besarnya ETo dihitung dengan menggunakan metode *Penman* yang dimodifikasi oleh *Food and Agriculture Organization* (FAO). ETo dihitung dengan menggunakan rumus-rumus teoritis empiris dengan memperhatikan faktor-faktor meteorologi, yaitu suhu maksimum, suhu minimum, kelembaban udara, kecepatan angin dan penyinaran matahari.

Keterangan:

ETc : Evapotranspirasi tanaman, mm/hari

ETo : Evapotranspirasi tanaman acuan, mm/hari

Kc : Koefisien tanaman

Besarnya koefisien tanaman tergantung dari jenis tanaman dan fase pertumbuhan tanaman. Nilai ETo dari rumus Penman menunjuk pada tanaman acuan apabila digunakan albedo (koefisien pemantulan) 0.25 (rerumputan pendek). Koefisien yang digunakan dalam perhitungan ETc harus didasarkan pada ETo dengan albedo 0.25. Rumus Penman dimodifikasi dengan metode Nedeco/Prosida dan metode FAO dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.9 Koefisien Tanaman

Bulan ke :			FAO	
	PIADP	PROSIDA	Varietas Biasa	Varietas Unggul
	Padi		Padi	
0.5	1.08	1.20	1.10	1.10
1.0	1.07	1.27	1.10	1.10
1.5	1.02	1.33	1.10	1.05
2.0	0.67	1.30	1.10	1.05
2.5	0.32	1.30	1.10	0.95
3.0	0.00	0.00	1.05	0.00
3.5	0.00	0.00	0.95	0.00
4.0	0.00	0.00	0.00	0.00
	Jagung	Kc. Tanah		
0.5	0.40	0.40		
1.0	0.48	0.48		
1.5	0.85	0.70		
2.0	1.09	0.91		
2.5	1.05	0.95		
3.0	0.80	0.91		
3.5	0.00	0.69		

(Sumber : Dinas PU KP-01)

2.7.2 Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air dalam tanah dengan arah vertikal ke bawah (Pekerjaan Umum 1986). Besarnya perkolasi dipengaruhi sifat-sifat tanah, tekstur tanah, struktur tanah, kedalaman air dan sistem perakaran. Perkolasi dibedakan berdasarkan kemiringan dan tekstur tanah. Berdasarkan kemiringan, lahan dibedakan menjadi lahan datar dengan perkolasi 1 mm/hari dan lahan miring > 5% dengan perkolasi 2-5 mm/hari. Berdasarkan tekstur, tanah dibedakan menjadi tanah berat (lempung) perkolasi 1-2 mm/hari, tanah sedang (lempung berpasir) perkolasi 2-3 mm/hari dan tanah ringan dengan perkolasi 3-6 mm/hari.

2.7.3 Kebutuhan Air Untuk Pengolahan Lahan

Kebutuhan air untuk pengolahan tanah menentukan kebutuhan minimum air irigasi. Faktor-faktor yang menentukan besarnya kebutuhan air, yaitu besarnya air untuk penjemuran, pelumpuran, genangan air, lamanya pengolahan tanah, evaporasi dan perkolasi yang terjadi.

Dalam KP-01 waktu untuk pekerjaan pengolahan tanah adalah selama satu bulan. Kebutuhan air yang diperlukan untuk pengolahan tanah bertekstur berat (lempung) adalah 200 mm, setelah selesai lapisan genangan air di sawah ditambah 50 mm. Hal ini dilakukan sebagai cadangan air yang akan dipakai akibat kehilangan air karena perkolasi dan evaporasi. Jadi kebutuhan air yang diperlukan untuk pengolahan tanah dan lapisan air awal seluruhnya menjadi 250 mm. Air yang dibutuhkan untuk pengolahan tanah setelah dibiarkan bera atau kering lebih dari 2.5 bulan adalah 300 mm.

Tabel 2.10 Kebutuhan Air untuk Pengolahan Tanah Padi Sawah.

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	10,5	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8

(Sumber : Dinas PU KP-01)

2.7.4 Pergantian Lapisan Air

Pergantian lapisan air dilakukan sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (3.3 mm/hari) selama sebulan dan 2 bulan setelah penanaman bibit. Pergantian lapisan air dilakukan untuk menggenangi lapisan tanah yang berfungsi sebagai cadangan air untuk perkolasi dan evapotranspirasi tanaman. Tujuan lain adanya genangan tersebut, yaitu untuk menekan pertumbuhan hama tumbuhan.

Tabel 2.11 Nilai Rata-Rata Pergantian Lapisan Air (WLR)

No	WLR	WLR1	WLR2	WLR3
1				
2				
1				
2	1.1	3.3		
1	1.1		3.3	
2	2.2	3.3		3.3
1	1.1		3.3	
2	1.1			3.3
1				
2				
1				
2				
1	1.1	3.3		
2	1.1		3.3	
1	2.2	3.3		3.3
2	1.1		3.3	
1	1.1			3.3
2				
1				
2				
1				
2				
1				
2				

(Sumber : Dinas PU KP-01)

2.7.5 Efisiensi Irigasi

Efisiensi merupakan persentase perbandingan antara jumlah air yang dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan. Air yang diambil dari sumber air yang dialirkan ke areal irigasi tidak semuanya dimanfaatkan oleh tanaman. Dalam praktek irigasi terjadi kehilangan air. Agar air yang sampai pada tanaman tepat jumlahnya seperti yang direncanakan, maka air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan harus lebih besar dari kebutuhan. Biasanya Efisiensi Irigasi dipengaruhi oleh besarnya jumlah air yang hilang di perjalanannya dari saluran primer, sekunder hingga tersier.

Tabel 2.12 Efisiensi Irigasi

Jaringan	Efisiensi Irigasi (%)
Primer	90
Sekunder	90
Tersier	80
Total El	65

(Sumber : Dinas PU KP-01)

2.7.6 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang digunakan oleh tanaman selama masa pertumbuhan. Besarnya curah hujan efektif dipengaruhi oleh cara pemberian air irigasi, laju pengurangan air genangan, kedalaman lapisan air yang dipertahankan, jenis tanaman dan tingkat ketahanan tanaman terhadap kekurangan air. Pada KP-01 untuk irigasi tanaman padi, curah hujan efektif diambil 80% kemungkinan curah hujan terlewati (Pekerjaan Umum 1986). Dalam menentukan R80 dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu pengeplotan data, pengurutan data hujan dari yang terbesar hingga terkecil dan dapat ditentukan dengan menggunakan RAINBOW. Koefisien hujan efektif untuk tanaman padi adalah 0.7.

2.7.7 Cara Pemberian Air Irigasi

Berdasarkan caranya, pemberian air dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1) Pemberian air secara terus-menerus

Yaitu pemberian air yang dilakukan secara serentak untuk suatu tanaman dan persiapan penggolongan tanahnya di dalam suatu daerah irigasi. Hal ini dilakukan bilamana persediaan air cukup banyak sehingga air yang ada dapat diberikan kepada semua lahan yang memerlukan.

2) Pemberian air dengan aturan golongan

Seperti telah diketahui bahwa dalam persediaan air dalam jangka waktu satu tahun tidak tetap, artinya pada bulan-bulan tertentu persediaan air sangat kecil dan kadang-kadang persediaan airnya tidak cukup. Oleh karena itu, dalam

menghadapi musim tanam lahan pertanian biasanya dibagi menjadi beberapa golongan antara lain :

- a) Golongan untuk saluran primer terdiri dari saluran primer, sekunder dan tersier.
 - b) Golongan untuk saluran sekunder terdiri dari saluran sekunder dan tersier.
 - c) Golongan untuk saluran tersier pembagiannya dalam petak tersier itu sendiri.
- 3) Pemberian air secara bergilir

Yaitu pemberian air yang dilakukan secara bergantian atau bergiliran antara lahan-lahan di dalam suatu irigasi. Ini dilakukan bilamana jumlah persediaan air yang ada sangat kecil sehingga tidak memungkinkan apabila dilakukan pemberian air secara serentak. Cara ini ada beberapa macam tergantung dari jumlah air yang ada antara lain: giliran jam, giliran antara saluran, giliran antara desa, dan giliran antara kelompok. Sistem gilir antara saluran diterapkan bilamana saluran tersebut berada dalam suatu desa, sedangkan sistem gilir desa diterapkan bila saluran / petak tersier tersebut terbagi dalam beberapa desa.

2.7.8 Tata Guna Lahan

Tata guna lahan adalah variasi dan intensitas penggunaan lahan pada suatu daerah yang merupakan salah satu bentuk indikator yang merefleksikan tingkat dinamisasi dan penguasaan teknologi penduduk dalam mengeksploitasi sumber daya alam sekaligus menampakkan pencerminan potensi daerah yang bersangkutan, Tata guna lahan terdiri dari pola tanam dan tata tanam.

1) Pola Tanam

Pola tanam adalah cara pengaturan dan pemilihan jenis tanaman yang diusahakan pada sebidang lahan dalam waktu tertentu. Penanaman dilakukan secara bergiliran pada suatu lahan tertentu, baik untuk tanaman yang sama maupun jenis tanaman yang berbeda. Iklim sangat menentukan jenis tanaman yang diusahakan pada suatu daerah, karena iklim sangat besar pengaruhnya terhadap ketersediaan air bagi tanaman.

Tabel 2.13 Kebutuhan Air untuk Pengolahan Tanah Padi Sawah.

No.	Ketersediaan Air Untuk Jaringan Irigasi	Pola tanam dalam satu tahun
1	Tersedia air cukup banyak	Padi-Padi-Padi
2	Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi-Padi-Bero
3	Daerah yang cenderung kekurangan air	Padi-Palawija-Palawija

(Sumber : *Irigasi dan Bangunan Air*).

2.7.9 Tata Tanam

Tata tanam adalah pengaturan serta jadwal tanam yang lebih terperinci dimana menggambarkan kegiatan- kegiatan mulai dari pengolahan, waktu tanam, akhir tanam, luas tanah dari masing- masing tanaman serta jumlah air yang diperlukan. Air pengairan diberikan ditambah atau dikurangi berdasarkan kebutuhan air pada tata tanam yang telah disesuaikan dengan iklim, kesukaran lahan, cara bercocok tanam, luas area tanam, topografi dan periode pertumbuhan serta jenis tanaman.

2.8 Pola Tanam

Pengaturan pola tata tanam adalah kegiatan mengatur awal masa tanam, jenis tanaman dan varietas tanaman dalam suatu tabel perhitungan. Tujuan utama dari penyusunan pola tanam adalah untuk mendapatkan besaran kebutuhan air irigasi pada musim kemarau sekecil mungkin.

Di dalam penyusunan pola tata tanam dilakukan simulasi penentuan awal tanam. Misalnya alternatif pertama, jika awal tanam padi pada awal bulan Oktober, alternative kedua, jika awal tanam padi pada awal bulan Nopember begitu seterusnya hingga alternatif ke duabelas yang awal tanam padi dimulai pada awal September. Dari duabelas alternative tadi dipilih alternatif yang “kebutuhan air irigasi” nya paling rendah.

Penyusunan pola tata tanam dilakukan selama 1 tahun dengan disisipi 1 musim untuk tanaman palawija (tanaman jagung, kacang, kedele, singkong atau

ubi), misalnya pola tata tanam : padi pertama, sesudah padi pertama maka dilanjutkan dengan pengolahan tanah untuk persiapan tanam padi kedua, sesudah padi kedua panen, maka lahan ditanami dengan palawija, tidak dengan padi lagi. Hal ini dimaksudkan untuk memutus rantai serangan hama pada tanaman padi serta memberi kesempatan tanah untuk memulihkan unsur-unsur haranya setelah berturut-turut ditanami padi.

Notasi pola tanam dibuat miring-miring, dimaksudkan bahwa penanaman untuk seluruh areal persawahan tidak dilakukan serentak tetapi bertahap, berperiode setengah bulanan (15 harian) dan ada waktu kosong (time lag) selama 15 hari (1 kali setengah bulanan) sebelum pengolahan/penyiapan lahan (Land Preparation). Total waktu penyiapan lahan adalah 2 bulan.

2.9 Neraca Air

Merupakan kombinasi antara ketersediaan dan kebutuhan air untuk terjadinya keseimbangan 2 hal tersebut. Penghitungan neraca air dilakukan untuk mengecek apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi di proyek yang bersangkutan. Perhitungan didasarkan pada periode mingguan atau tengah bulanan. Dibedakan adanya tiga unsur pokok :

Tersedianya Air

Kebutuhan Air

Neraca Air

Perhitungan pendahuluan neraca air dibuat pada tahap studi proyek. Pada taraf perencanaan pendahuluan ahli irigasi akan meninjau dasar-dasar perhitungan ini. Kalau dipandang perlu akan diputuskan mengenai pengumpulan data-data tambahan, inspeksi dan uji lapangan. Ahli irigasi harus yakin akan keandalan data-data tersebut. Perhitungan neraca air akan sampai pada kesimpulan mengenai :

- 1) Pola tanam akhir yang akan dipakai untuk jaringan irigasi yang sedang direncanakan
- 2) Penggambaran akhir daerah proyek irigasi

Tabel 2.14 Perhitungan Neraca Air (KP-01)

Bidang	Parameter	Referensi	Neraca air	Kesimpulan
Hidrologi	Debit andalan	Pasal 4.2.5 (KP-01)	Debit minimum mingguan atau per setengah bulan periode 5 tahun kering pada bangunan utama	- Jatah debit/kebutuhan - Luas daerah irigasi - Pola tanam - Pengaturan rotasi
Meteorologi	Evapotranspirasi curah hujan efektif	Bab 4 dan Lampiran 2 (KP-01)	Kebutuhan bersih Irigasi dalam l/dt.ha disawah	
Tanah Agronomi	Pola tanam, Koefisien tanaman, Perkolasi, kebutuhan penyimpanan lahan	Lampiran 2 (KP-01)		
Jaringan irigasi	Efisiensi irigasi rotasi	Lampiran 2 (KP-01)		
Topografi	Daerah layanan	Lampiran 2 (KP-01)	Daerah yang berpotensi untuk diairi	

(Sumber : Dinas PU KP-01)