

F/MP/1983/012

S.I  
63167  
Mus  
e

18

# EVALUASI SISTIM ALOKASI AIR TANAH DENGAN OPERASI POMPA PADA BERBAGAI PRODUKTIVITAS USAHA TANI DI P2AT SUB PROYEK GUNUNG KIDUL

oleh  
**ZULKIFLI MUSA**  
**F. 15 1067**



**1983**  
**INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN**  
**B O G O R**

IPB University

Hak cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## RINGKASAN

ZULKIFLI MUSA.. Evaluasi Sistem Alokasi Air Tanah Dengan Operasi Pompa Pada Berbagai Produktivitas Usaha Tani Di P2AT Sub Proyek Gunung Kidul (Di bawah bimbingan SOEDODO HARDJOAMIDJOJO dan H. ARIES PRIYANTO).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan luas areal optimal, pola tanam yang sesuai, waktu tanam yang tepat, pemanfaatan air tanah lebih efisien sesuai dengan pola tanam dan menerapkan Perencanaan Linear (Linear Programming) berdasarkan sumber daya air tanah yang terbatas sesuai dengan kemampuan pompa.

Dalam perencanaan ini ketersediaan air untuk kebutuhan tanaman didasarkan pada debit yang disuplai dari sumber air tanah (akuifer). Pendugaan debit dengan uji Akuifer (pumping test) yang masing-masing 19 lt/dt sebagai debit tetap (Constant rate test) dan 28 lt/dt sebagai pembandingan yang merupakan rancangan (design) debit pompa yang optimal.

Hasil perhitungan dengan perencanaan linear, optimal luas areal di musim hujan dan musim kemarau dengan kombinasi tiga kali tanam seluas 11.86 Ha untuk debit pompa 19 lt/dt. Sedangkan untuk debit pompa 28 lt/dt dengan pola tanam yang sama, optimal luas areal pada musim hujan dan kemarau 17.47 Ha.

Untuk memaksimumkan pemanfaatan air tanah di musim

hujan dibuat model perencanaan linear yang terbatas untuk musim hujan dengan luas maksimum yang dapat diairi dari sisa debit 19 lt/dt seluas 16.20 Ha, sebagai tambahan 1.75 Ha. Sedangkan untuk sisa debit pompa 28 lt/dt luas maksimum yang dapat diairi 23.94 Ha, sebagai tambahan 2.13 Ha.



EVALUASI SISTIM ALOKASI AIR TANAH DENGAN OPERASI  
POMPA PADA BERBAGAI PRODUKTIVITAS USAHA TANI  
DI P2AT SUB PROYEK GUNUNG KIDUL

oleh  
ZULKIFLI MUSA  
F 151067

SKRIPSI  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
SARJANA MEKANISASI PERTANIAN  
pada  
Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

1983  
Institut Pertanian Bogor  
Fakultas Teknologi Pertanian  
Bogor

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

EVALUASI SISTIM ALOKASI AIR TANAH DENGAN OPERASI  
POMPA PADA BERBAGAI PRODUKTIVITAS USAHA TANI  
DI P2AT SUB PROYEK GUNUNG KIDUL

oleh

ZULKIFLI MUSA

F 151067

SKRIPSI

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA MEKANISASI PERTANIAN

pada

Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

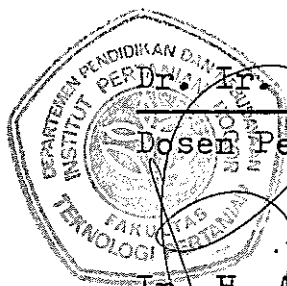
Disetujui,

Bogor, Nopember 1983



Dr. Ir. Soedodo Hardjoamidjojo, MSc

Dosen Pembimbing Utama



Ir. H. Aris Priyanto, MAE

Dosen Pembimbing Pendamping



## KATA PENGANTAR

Dengan Rahmat Tuhan Yang Maha Kuasa, dan dengan ke-ridhaanNya penulis telah dapat menyelesaikan Skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Sarjana Mekani- sasi Pertanian, di Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Dengan keterbatasan sumber air, maka diperlukan usa- ha pemanfaatan air tanah yang efisien dan ekonomis. Gaga- san ini merupakan hasil penelitian tentang sistim alokasi air tanah untuk pertanian di P2AT Sub Proyek Gunung Kidul.

Pada kesempatan ini penulis tak lupa mengucapkan be- ribu terima kasih kepada Bapak Dr Ir. Soedodo Hardjoami- djojo, Msc dan Bapak Ir. H. Aris Priyanto, MAE selaku dosen pembimbing, Bapak Pimpinan P2AT Sub Proyek Gunung Kidul beserta Stafnya dan kepada Bapak Ir Imam Hidayat selaku pembimbing penggunaan komputer untuk pengolahan data, serta kepada semua pihak yang telah membantu penu- lis sampai tersusun Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang sifat membangun dari pembaca, sebagai penyempurnaan tulisan ini. Atas bantuan dan perhatiannya diucapkan te- rima kasih.



Akhirnya mengharapakan semoga tulisan ini ada manfaat  
bagi yang memerlukannya.

Bogor, Oktober 1983

Penulis

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
I. PENDAHULUAN.....	1
1. Latar Belakang.....	1
2. Tujuan Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
1. Pengertian dan Sumber Air Tanah.....	5
2. Keadaan Air Tanah.....	6
3. Air Tanah Untuk Irigasi.....	8
4. Tanaman Yang Dikembangkan.....	9
5. Kehilangan Air di Saluran.....	14
6. Perkolasi dan Rembesan.....	16
7. Sifat Fisik Tanah.....	20
8. Jumlah Keperluan Air Bagi Tanaman ....	22
9. Curah Hujan Efektif.....	31
10. Keseimbangan Air Di Petak Sawah.....	32
11. Efisien Penggunaan Air Tanah Untuk Irigasi.....	34
12. Penggunaan Pompa dan Uji Akuifer.....	37
13. Perencanaan Linear.....	40
III. BAHAN DAN METODA.....	43
1. Tempat dan Waktu.....	43
2. Alat-alat yang Digunakan.....	43
3. Metoda.....	43

a.	Pengukuran Kehilangan Air di Saluran.....	43
b.	Pengukuran Perkolasi dan Rembesan.....	44
c.	Analisa Sifat Fisik Tanah.....	44
d.	Kebutuhan air Tanaman untuk Setiap Pola Tanam.....	44
e.	Menghitung Curah Hujan Efektif....	45
f.	Keseimbangan Air di Petak Sawah...	46
g.	Efisiensi Pemanfaatan Air Tanah...	46
h.	Ketersediaan Air Bagi Tanaman.....	46
i.	Pendekatan Masalah Pada Perencanaan Linear.....	47
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
1.	Kehilangan Air di Saluran.....	50
2.	Perkolasi dan Rembesan.....	51
3.	Sifat Fisik Tanah.....	53
4.	Jumlah Kebutuhan Bagi Tanaman.....	54
5.	Curah Hujan Efektif.....	56
6.	Keperluan Air Setiap Kombinasi Pola Tanam dan Debit yang Tersedia dari Pompa.....	58
7.	Luasan Optimal yang Dapat Terairi dengan Operasi Pompa.....	61
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
	DAFTAR PUSTAKA.....	70
	LAMPIRAN.....	73



## DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Efisiensi Irigasi Pada Berbagai Tipe Tanah (Blaney dan Criddle).....	36
2.	Perkolasi dan Rembesan (mm/bln).....	51
3.	Umur Tanaman (bulan) Pada Setiap Tahap Pertumbuhan.....	55
4.	Nilai Koefisien Tanaman Untuk Berbagai Tahap Pertumbuhan.....	56
5.	Kebutuhan Air Tanaman (mm/bln) untuk Setiap Kombinasi Pola Tanam (ETc).....	57
6.	Hujan Efektif Bulanan (mm) di Daerah Penelitian.....	58
7.	Keperluan Air bagi setiap Kombinasi Pola Tanam atau Matrik $q_{ij}$ (lt/dt/Ha) dan Debit Air yang Tersedia dari Operasi Pompa, $Q$ (lt/dt).....	60
8.	Pola Tanam dan Luas Areal dengan Debit Pompa 19 lt/dt musim Hujan dan Kemarau.....	62
9.	Pola Tanam dan Luas Areal yang dapat Diairi dari Sisa kelebihan Air pada musim Penghujan (Nop-Mei).....	63
10.	Pola Tanam dan Luas Areal dengan Debit Pompa 28 lt/dt musim Hujan dan Kemarau.....	65
11.	Pola Tanam dan Luas Areal yang dapat Diairi dari sisa kelebihan Air pada musim Penghujan dengan Debit Pompa 28 lt/dt..	66

## Lampiran

1.	Data Curah Hujan Bulanan di Daerah Gunung Kidul (mm/bln).....	74
2.	Data Evaporasi Rata-rata Harian (mm) dari Panci Klas A di Daerah Gunung Kidul...	75

Nomor	Halaman
3. Data Kelembaban Udara (% RH) Bulanan di Daerah Playen Gunung Kidul.....	75
4. Nilai Koefisien Tanaman Daerah Gunung Kidul.	76
5. Data Penetapan Bulk Density, Porositas, pF dan Permeabilitas.....	77
6. Hasil Komputasi dengan Debit 19 lt/dt.....	78
7. Hasil Komputasi dengan Debit 28 lt/dt.....	79
8. Hasil Uji Akuifer (Pumping Test) di Sumur Jatisari (W.21) P2AT Sub-Proyek Gunung Kidul.....	80
9. Jumlah Kelebihan Debit Air dengan Pola Tanam yang Terpilih, untuk Debit Pompa 19 lt/dt.....	82
10. Kebutuhan Air Tanaman (mm/bln) untuk Setiap Kombinasi Pola Tanam.....	83
11. Keperluan Air bagi Setiap Kombinasi Pola Tanam atau $q_{ij}$ (lt/dt/Ha) dan Debit yang Tersedia, sisa dari Debit 19 lt/dt.....	83
12. Tabel Simplek untuk sisa Debit Air dari Debit Pompa 19 lt/dt.....	84
13. Jumlah Kelebihan Debit dengan Pola Tanam yang Terpilih untuk Debit Pompa 28 lt/dt.....	85
14. Kebutuhan Air Tanaman (mm/bln) untuk setiap Kombinasi Pola Tanam.....	86
15. Keperluan Air bagi setiap Kombinasi Pola Tanam atau $q_{ij}$ (lt/dt/Ha) dan Debit yang tersedia, sisa Debit pompa 28 lt/dt....	86
16. Tabel Simplek Untuk Sisa Debit Air dari Debit Pompa 28 lt/dt.....	87

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
	<u>Teks</u>	
1.	Cara Mengukur Evaporasi dan Perkolasi dengan "tank method".....	17
2.	Petak Sawah yang Ditutup Plastik untuk mengukur S&P (Dhalhar, 1980).....	18
3.	Laju Pertumbuhan Terhadap Kandungan Air dalam Tanah (Israelsen dan Hansen, 1962).	25
4.	Kurva Karakteristik Pompa Pusingan (Israel- sen dan Hansen, 1962).....	38
5.	Langkah-langkah Pemecahan Masalah.....	41
	<u>Lampiran</u>	
1.	Giliran Map W.21 Jatisari.....	88
2.	Well Characteristic Curves.....	89
3.	Tube Well Command Areas.....	90

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Di larang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Di larang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.





## I. PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Pembangunan Pertanian di Indonesia merupakan tulang punggung Pembangunan Nasional dan bertujuan meningkatkan kemakmuran serta kesejahteraan masyarakat. Pernyataan ini telah digariskan dalam GBHN, dalam bentuk Pelita (Pembangunan Lima Tahun). Arah dari Pembangunan Pertanian adalah dengan memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia di bidang pertanian.

Daerah Gunung Kidul merupakan salah satu daerah di pulau Jawa yang selalu menghadapi kekurangan air di musim kemarau, terutama untuk keperluan pertanian, sehingga pola pertaniannya yang telah dikembangkan sistem pertanian tadah hujan.

Mengingat keadaan curah hujan yang relatif rendah, menurut Schmidt dan Ferguson tipe curah hujan C (perbandingan bulan basah dan bulan kering 54.7 persen), maka dengan demikian sumber daya alam yang ada di daerah Gunung Kidul yaitu air tanah, harus dapat menyediakan air untuk irigasi pada musim kemarau. Hal ini suatu keharusan untuk penanaman yang lebih satu kali dalam setahun, baik untuk padi sawah maupun untuk palawija (Widodo et al, 1977)

Apabila irigasi konvensional sangat kurang untuk mencukupi kebutuhan, maka usaha mendapatkan sumber air tanah merupakan salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk men-

Di Indonesia usaha pemanfaatan air tanah masih dalam taraf permulaan. Di daerah Madiun-Solo pengembangan air tanah berada pada taraf eksploitasi. Sedangkan di daerah lain seperti di Kediri-Nganjuk, Madura dan Gunung Kidul masih merupakan "pilot project" (Partowijoto, 1980).

Sejalan dengan laju pertumbuhan penduduk diperlukan usaha peningkatan produksi pangan melalui intensifikasi usaha tani dan perluasan areal tanah pertanian. Dalam hubungan ini maka disamping pengembangan sumber air, perlu ditingkatkan efisiensi penggunaan air, khususnya penggunaan air tanah untuk keperluan irigasi dan pertanian (Partowijoto, 1980).

Pengembangan air tanah merupakan salah satu usaha menyediakan air bagi keperluan tanaman dan merupakan sarana produksi di bidang pertanian yang ditujukan terutama untuk meningkatkan produksi bahan makanan. Dengan adanya usaha pengembangan air tanah diharapkan penyediaan air secara teratur, tepat dan cukup untuk kebutuhan tanaman dapat terpenuhi.

Pemberian air untuk tanaman tergantung dari jenis tanaman, tingkat pertumbuhan, sifat fisik tanah dan keadaan iklim setempat. Tanaman yang sedang tumbuh menggunakan air secara kontinu, tetapi laju penggunaan bervariasi dengan kondisi pertumbuhan tanaman, umur tanaman dan iklim setempat (Israelsen dan Hansen, 1962).

Adapun tujuan dari pengembangan air tanah menurut Partowijoto (1980) adalah untuk menunjang usaha peningkatan produksi pangan, yang diharapkan dapat memberikan efek ganda terhadap Pengembangan Pertanian dan Pembangunan Nasional secara keseluruhan. Tujuan tersebut dapat dicapai melalui pemanfaatan air tanah secara efisien dan ekonomis, mengingat akan karakteristik air tanah serta biaya pengembangan dan pemanfaatan yang relatif tinggi.

Menurut Israelsen dan Hansen (1962) pemberian air untuk tanaman yang sesuai atau optimum bagi daerah pengembangan sumber air adalah suatu hal yang perlu diperhatikan baik segi ekonomis eksploitasi maupun efisiensi dalam pemakaian. Segi ekonomis sangat penting dalam mengevaluasi suatu sistem irigasi yang berskala besar untuk menambah keuntungan. Keuntungan yang besar berarti meningkatkan efisiensi produksi, sehingga akhirnya dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat.

## 2. Tujuan Penelitian

- a. Mendapatkan luas areal yang optimum sesuai dengan debit air tanah dari kapasitas pompa beroperasi, pola tanam dan waktu tanam yang tepat.
- b. Diharapkan pemanfaatan air tanah lebih efisien sesuai dengan pola tanam yang disarankan dan produksi pertanian dapat menguntungkan.
- c. Menerapkan Perencanaan Linear berdasarkan sumber

daya air tanah yang terbatas, dalam rangka eksploitasi pengembangannya dengan operasi pompa.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Pengertian dan Sumber Air Tanah

Air tanah adalah air yang bergerak dalam tanah yang terdapat di dalam ruang antara butir-butir tanah dan dalam retak-retak dari batuan sebagai air celah atau "fissure water" (Sosrodarsono dan Takeda, 1978). Menurut Houk (1960), air yang mengisi pori lapisan material bumi yang berada di bawah "water table" biasanya disebut air tanah.

Jika kapasitas tanah dalam zone aerasi baik, air bergerak turun ke daerah dimana tanah porus atau ruang batuan untuk mengisi dengan air. Air dalam zone ini menjadi jenuh dan disebut air tanah (Linsley dan Franzini, 1979).

Sumber utama air tanah adalah presipitasi, yang mana air dari permukaan akan menembus langsung lapisan tanah ke daerah lapisan air tanah (akuifer) atau aliran permukaan dan perkolasi dari daerah penampung air (genangan) menjadi air tanah (Linsley dan Franzini, 1979).

Menurut Ward (1969) dalam Partowijoto (1980), air tanah berasal dari air hujan yang menembus masuk ke dalam tanah dan lapisan bawahnya, sedangkan sumber-sumber lainnya sedikit sekali yang dapat dianggap sebagai sumber yang mempunyai arti.

Beberapa teori mengenai asal air tanah dikemukakan

oleh Meizer (dalam Partowijoto, 1980) sebagai berikut:

- a. Teori "infiltrasi": Teori ini mengatakan bahwa air tanah berasal dari rembesan air permukaan, baik langsung dari hujan, lelehan salju atau dari sungai, danau yang mendapatkan air dari hujan atau salju.
- b. Teori air "Juvenile": Teori ini mengatakan bahwa air tanah berasal dari air magma, air vulkanis dan kosmik.
- c. Teori "connate water", mengatakan bahwa air tanah berasal dari formasi batuan endapan didalam laut yang lambat laun terangkat kepermukaan air. Air yang tersimpan didalamnya ikut terbawa dan merupakan sumber air tanah.
- d. Teori "kondensasi": Menurut teori ini air tanah berasal seluruhnya atau sebagian besar dari kondensasi uap air dalam udara yang berada melalui rongga atau retakan batuan, udara yang memasuki batuan ini sering membawa awan yang kemudian mengalami pengembunan.

## 2. Keadaan Air Tanah

Keadaan air tanah tergantung dari profil tanah yang dilaluinya. Umumnya air tanah berada pada keadaan lapisan permeabel dan impermeabel, air bebas dan air terkekang (free water and confined water), air tanah tumpang (perched ground water) (Sosrodarsono dan Takeda, 1978).



Lebih lanjut Sosrodarsono dan Takeda (1978) mengatakan bahwa berdasarkan pada sumber air tanah, maka diklasifikasikan dalam lima jenis, sesuai dengan kondisi air tanah:

- a. Air tanah daratan alluvial
- b. Air tanah dalam kipas detrial
- c. Air tanah dalam terras dilluvial
- d. Air tanah dikaki gunung berapi
- e. Air tanah dalam zone batuan retak

Disamping adanya klasifikasi, air tanah juga dibedakan yaitu air tanah tertekan yang dapat mempunyai tekanan negatif dan tekanan positif. Bertekanan negatif berarti mempunyai "piezometric surface" dibawah permukaan tanah, sehingga bila dibuat sebuah sumur, permukaan airnya tetap berada dibawah permukaan tanah. Air tanah tertekan yang bertekanan positif mempunyai "piezometric surface" diatas permukaan tanah, dengan demikian air tanah menjadi "artetis" dan dapat mengalir ke permukaan tanah dengan sendirinya, bila mana dibuat suatu sumur (Partowijoto, 1980).

Menurut Widodo (1977) ada tiga macam air tanah yang terdapat pada lapisan tanah bagian atas, disebut air tanah "phreatis", air tanah yang terdapat pada lapisan yang mempunyai tekanan dan air tanah yang terletak didalam rongga-rongga tanah, kira-kira 50 m dibawah permukaan tanah disebut air tanah "karst".

Air tanah tersimpan dalam lapisan "porus" yang disebut lapisan pengandung air. Lapisan batuan dapat dibedakan



menjadi tiga jenis (Linsley dan Franzini, 1979; Sosrodarsono dan Takeda, 1978):

- a. "Aquifer" ialah lapisan batuan atau tanah yang dapat menyimpan dan meluluskan air dengan kapasitas yang cukup besar.
- b. "Aquiclude" ialah lapisan tanah atau batuan yang mengandung atau menyimpan air, tidak mampu meluluskan air dengan kapasitas yang besar, seperti lapisan liat, tanah liat ataupun liat yang bercampur dengan bahan yang lebih kasar, umumnya bersifat "porous" akan tetapi ruang porinya terlampau kecil sehingga dianggap sebagai lapisan kedap air.
- c. "Aquifuge" ialah lapisan batuan yang sama sekali tidak mampu mengandung atau meluluskan air, misalnya batuan granit.

### 3. Air Tanah Untuk Irigasi

Hujan dan salju yang mencair adalah sumber utama air irigasi, tetapi tidak semua dapat digunakan oleh tanaman. Kelebihan akan mengalir di permukaan tanah atau rembesan ke dalam tanah yang dapat menambah persediaan air dalam tanah (Israelsen dan Hansen, 1962).

Air hujan, air yang ada di atmosfer kecuali hujan, air tergenang dan air tanah merupakan sumber air irigasi. Sedangkan air hujan merupakan sumber utama air tanah yang mana sebagai persediaan air pada sungai atau irigasi,





tukan "primordia" sampai mulai berbunga.

- (4) Fase pematangan, dalam fase ini biji gabahnya mulai pengisian dan penggemukan biji sampai menguning.

Dalam hubungannya dengan keperluan air bagi setiap tahap pertumbuhan disesuaikan dengan koefisien tanaman (kc) yang berbeda menurut tahap pertumbuhan. Pada bulan pertama dan kedua kc berkisar 1.1-1.15, pada pertengahan musim (midseason) 1.1-1.3 dan pada bulan terakhir atau akan panen berkisar 0.95-1.05 serta tergantung kondisi daerah (Doorenbos dan Kassam, 1979).

#### b. Tanaman Jagung

Tanaman jagung (Zea mays) dapat hidup di daerah tropis dan subtropis. Adaptasi terhadap perbedaan iklim tempat tumbuh, tergantung pada varietas yang diusahakan. Pada keadaan iklim daerah tropis dengan suhu harian diatas 15°C, tanaman jagung dapat mempertahankan pertumbuhannya. (Doorenbos dan Kassam, 1979).

Dalam hubungannya dengan keperluan air bagi setiap tahap pertumbuhan, disesuaikan dengan koefisien tanaman (kc) yang berbeda menurut tahap pertumbuhan. Adapun tahap-tahap pertumbuhan adalah sebagai berikut: tahap permulaan (initial stage) dengan koefisien tanaman berkisar antara 0.3-0.5 pada umur tanaman jagung kira-kira 15- 30 hari, yang juga dipengaruhi oleh kondisi setempat, tahap

pengembangan (development stage) dengan Kc 0.7-0.85 pada umur tanaman 30-40 hari, tahap pertengahan musim (mid-season) kc 1.05-1.2 selama 30-45 hari, akhir musim (late season stage) kc 0.8-0.95 selama 10-30 hari dan tahap panen 0.55-0.6 (Doorenbos dan Kassam, 1979).

Dengan irigasi yang baik tanaman jagung dapat menghasilkan 6-9 ton biji per hektar pada kadar air 10-13 persen.

### c. Tanaman Kedelei

Kedelei (Glycine max) adalah salah satu tanaman yang penting untuk menghasilkan minyak dan protein yang berasal dari RRC dan Manchuria (Doorenbos dan Kassam, 1979; Rismunandar, 1978).

Tanaman kedelei dapat tumbuh pada daerah yang beriklim tropis dan subtropis serta daerah panca roba, yang berada pada ketinggian 750-1000 meter diatas permukaan laut. Umur kedelei menurut Doorenbos 100-130 hari, juga tergantung dari varietas. Di Indonesia umur kedelei berkisar 70-110 hari (Rismunandar, 1978).

Masa pertumbuhan kacang kedelei menurut keperluan air dibagi empat tahap, berdasarkan koefisien tanaman dan umur tanaman yaitu tahap permulaan dengan kc 0.3-0.4 antara 20-25 hari, tahap pengembangan 0.7-0.8 antara 25-35 hari, tahap pertengahan musim 1.0-1.15 antara 45-65 hari, tahap akhir musim 0.7-0.8 antara 20-30 hari, waktu panen 0.4-0.5 (Doorenbos dan Kassam, 1979).

Tanaman kedele pada umumnya dapat ditanam di tempat yang keadaan pengairannya cukup untuk tanaman jagung, tidak cukup untuk tanaman padi gadu. Sedangkan pada tempat-tempat bekas tanaman padi pada musim kemarau, tanaman kedele hanya dapat tumbuh dengan baik bila kondisi pengairan cukup untuk tanaman kedele (Rismunandar, 1978).

Produksi kedele pada daerah tadah hujan berkisar antara 1.5-2.5 ton per hektar dan daerah pengairan irigasi berkisar antara 2.5-3.5 ton per hektar, juga tergantung dari pengusahaan di sawah (Doorenbos dan Kassam, 1979).

#### d. Kacang Tanah

Kacang Tanah (Arachis hypogaea) dapat tumbuh pada daerah yang berada antara  $40^{\circ}$  LU (Lintang Utara) dan  $40^{\circ}$  LS (Lintang Selatan). Kebanyakan daerah-daerah tersebut mempunyai iklim tropis dan subtropis, yang suhu rata-rata harian dalam musim kemarau  $24^{\circ}\text{C}$  (Doorenbos dan Kassam, 1979).

Umur kacang tanah di Indonesia kira-kira 110 hari (Rismunandar, 1978). Masa pertumbuhan kacang tanah dibagi beberapa tahap, sesuai dengan keperluan air. Selama masa pertumbuhan sampai panen jumlah total keperluan air berkisar antara 500-700 mm.

Tahap pertumbuhan kacang tanah dan besarnya nilai koefisien tanaman (kc) adalah: tahap permulaan (initial stage) dengan kc 0.4-0.5, tahap pengembangan (development stage) 0.7-0.8 selama 30-45 hari, tahap pertengahan musim

Tanaman kedele pada umumnya dapat ditanam di tempat yang keadaan pengairannya cukup untuk tanaman jagung, tidak cukup untuk tanaman padi gadu. Sedangkan pada tempat-tempat bekas tanaman padi pada musim kemarau, tanaman kedele hanya dapat tumbuh dengan baik bila kondisi pengairan cukup untuk tanaman kedele (Rismunandar, 1978).

Produksi kedele pada daerah tadah hujan berkisar antara 1.5-2.5 ton per hektar dan daerah pengairan irigasi berkisar antara 2.5-3.5 ton per hektar, juga tergantung dari pengusahaan di sawah (Doorenbos dan Kassam, 1979).

#### d. Kacang Tanah

Kacang Tanah (Arachis hypogaea) dapat tumbuh pada daerah yang berada antara  $40^{\circ}$  LU (Lintang Utara) dan  $40^{\circ}$  LS (Lintang Selatan). Kebanyakan daerah-daerah tersebut mempunyai iklim tropis dan subtropis, yang suhu rata-rata harian dalam musim kemarau  $24^{\circ}\text{C}$  (Doorenbos dan Kassam, 1979).

Umur kacang tanah di Indonesia kira-kira 110 hari (Rismunandar, 1978). Masa pertumbuhan kacang tanah dibagi beberapa tahap, sesuai dengan keperluan air. Selama masa pertumbuhan sampai panen jumlah total keperluan air berkisar antara 500-700 mm.

Tahap pertumbuhan kacang tanah dan besarnya nilai koefisien tanaman (kc) adalah: tahap permulaan (initial stage) dengan kc 0.4-0.5, tahap pengembangan (development stage) 0.7-0.8 selama 30-45 hari, tahap pertengahan musim



dengan kc 0.95-1.1 selama 30-50 hari, tahap akhir musim dengan kc 0.7-0.8 selama 20-30 hari dan tahap panen 0.55-0.6 (Doorenbos dan Kassam, 1979).

Di daerah tadah hujan pada kondisi yang baik hasilnya bervariasi dari 2-3 ton per hektar. Di daerah irigasi hasilnya dapat dicapai 3.5-4.5 ton buah kering. Di Indonesia produksinya rata-rata 10-15 kwintal per hektar buah kering (Rismunandar, 1978).

#### e. Tanaman Tembakau

Tembakau (Nicotiana tobacum) berasal dari Amerika Selatan. Tembakau dapat tumbuh pada iklim yang mempunyai perbedaan yang luas, tetapi memerlukan lingkungan yang sejuk pada periode tertentu selama 90-120 hari mulai dari penanaman sampai panen daunnya.

Dalam hubungannya dengan keperluan air bagi pertumbuhan tanaman dibagi atas empat tahap pertumbuhan, sesuai dengan umur dan koefisien tanaman. Keperluan air untuk memaksimumkan hasil, berubah dengan keadaan iklim dan lama pertumbuhan yaitu dari 400-600 mm. Tahap pertumbuhan adalah, tahap permulaan dengan kc 0.3-0.4 selama 10 hari, tahap pengembangan 0.7-0.8 selama 20-30 hari, tahap pertengahan musim 1.0-1.2 selama 30-35 hari, tahap akhir pertumbuhan 0.9-1.0 selama 30-40 hari dan tahap panen 0.75-0.85 (Doorenbos dan Kassam, 1979).

Produksi tembakau berbeda dengan tanaman lain yaitu

daun sebagai hasilnya. Daun yang normal 18 sampai 20 lembar yang dapat dipanen dengan 2. sampai 3 lembar per minggu, selama 30 sampai 50 hari. Hasil yang baik untuk produksi komersil dengan pemberian air yang cukup, berkisar antara 2-2.5 ton daun per hektar (Deorenbos dan Kassam, 1979).

## 5. Kehilangan Air di Saluran

Kehilangan air irigasi terjadi dengan tiga cara (Houk, 1960):

- a. Kehilangan dalam saluran dan sistim distribusi yang dialirkan dari pintu pelepasan sampai ke sawah.
- b. Kehilangan di saluran persawahan yang digunakan petani.
- c. Kehilangan di tanggul samping saluran atau dasar dari genangan sementara.

Kehilangan air di saluran persawahan adalah jumlah air yang hilang karena rembesan dan kebocoran di dalam saluran persawahan. Faktor rembesan tergantung dari tekstur tanah, kedalaman muka air tanah (water table), permeabilitas tanah, umur saluran dan tingkat kepadatan (kemantapan) dari tanggul. Sedangkan kebocoran disebabkan oleh pemeliharaan tanggul dan kemantapan pintu saluran, serta tingkat pengelolaan saluran dan pengawasannya (Anonymous, 1973).

Menurut Partowijoto (1980) kehilangan air dalam

penyaluran dipengaruhi oleh macam dan kondisi saluran, sifat fisik tanah, tingkat pemadatan tanah dan panjang saluran. Selama dalam penyaluran kehilangan air dapat terjadi melalui rembesan, perkolasi, evaporasi dan bocoran.

Untuk mengetahui jumlah air yang hilang di saluran dapat dihitung dengan selisih debit air dari pengukuran debit dengan metoda "inflow-outflow", metoda bendung. Metoda "inflow-outflow" banyak digunakan, karena lebih mudah dan tidak mengganggu distribusi air ke lahan pertanian (Partowijoto, 1980).

Pengukuran debit air dengan metoda "inflow-outflow" dapat secara langsung, menggunakan sekat ukur dan dengan secara tidak langsung menggunakan alat ukur aliran (current meter) (Israelsen dan Hansen, 1962).

Untuk menghitung jumlah debit air di saluran, digunakan rumus untuk sekat ukur Thompson dan Cippoletti (Israelsen dan Hansen, 1962 dan Olivier, 1972):

- a. Rumus untuk sekat ukur Thompson

$$Q = 0.014 H^{5/2}$$

dimana: Q = debit air (lt/dt)

H = kedalaman air (cm)

- b. Rumus untuk sekat ukur Cippoletti

$$Q = 0.0186 bH^{3/2}$$

dimana: Q = debit air (lt/dt)

H = kedalaman air (cm)



$b$  = lebar dasar sekat ukur (cm)

Pengukuran debit air secara tidak langsung dapat dilakukan dengan mengukur kecepatan rata-rata pada setiap sub area dari penampang saluran, kemudian debit saluran adalah jumlah hasil kali kecepatan rata-rata dengan luas penampang (Partowijoto, 1980).

Kehilangan air di saluran menurut Houk (1960) ialah 5-50 persen per mil dari saluran tersier dan rembesan di persimpangan saluran 5-15 persen. Sedang menurut Ganda-koesoemah (1981) kehilangan air di saluran tergantung dari musim hujan dan musim kemarau. Di musim kemarau kehilangan air di saluran primer dan sekunder 20-30 persen dan saluran tersier 30-40 persen. Untuk musim hujan kehilangan air di saluran primer dan sekunder 5-20 persen dan saluran tersier 20-30 persen.

## 6. Perkolasi dan Rembesan

Perkolasi ialah jumlah air yang hilang karena mengalir atau meresap turun kedalam tanah yang sudah jenuh, yang mana nilainya merupakan suatu fungsi dari tekstur tanah dan kedalaman muka air tanah (Anonymous, 1973 ; Houk, 1960).

Faktor yang mempengaruhi perkolasi adalah tekstur dan struktur dalam lapisan profil tanah, elevasi muka air tanah, permeabilitas tanah dan kedalaman lapisan kedap air (Anonymous, 1973; Houk, 1960).

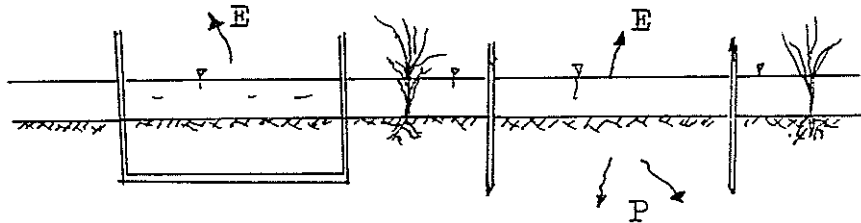
Untuk persawahan yang menggenangi air, perkolasi dan rembesan dihitung langsung dengan alat pengukuran evaporasi Panci klas A atau lysimeter. Sedangkan untuk persawahan yang tidak menggenangi perkolasi bisa dianggap kehilangan air ketika pemberian. Untuk penggenangan dianggap kehilangan yang tidak dapat dihindarkan (Anonymous, 1982).

Pada sawah penggenangan perkolasi dapat diukur dengan metoda pengurangan antara jumlah evaporasi dari "tank method" yang terbuka alas dengan jumlah evaporasi dari "tank" yang beralas, lihat Gambar 1. Dengan mengetahui hasil dari pengukuran evaporasi dan perkolasi dari tangki terbuka alas ( $E+P$ ) dan dari tangki beralas Evaporasi ( $E$ ), maka perkolasi dapat dihitung (Anonymous, 1973; Sosrodarsono dan Takeda, 1978):

$$P = (E+P) - E$$

Dimana:  $P$  = perkolasi (mm/hari)

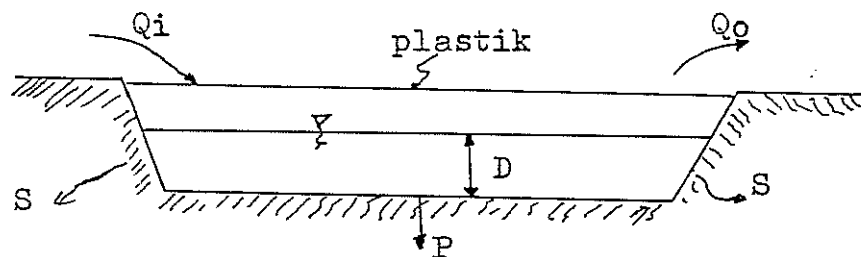
$E$  = Evaporasi (mm/hari)



Gambar 1. Cara mengukur Evaporasi dan Perkolasi dengan "tank method"

Menurut Wickham (1981) perembesan adalah gerakan lateral air di bawah permukaan tanah, sedangkan perkolasi adalah air secara vertikal di luar jangkauan akar ke muka air tanah (water table). Namun dalam prakteknya keduanya sulit untuk dibedakan karena adanya aliran peralihan yang sulit untuk dapat dikenali, apakah perembesan atau perkolasi. Oleh karena itu umumnya perembesan dan perkolasi dianggap sebagai suatu kesatuan yang dilambangkan dengan S&P.

Pengukuran perkolasi dan rembesan dapat digunakan dengan petak percontohan yang ditutup plastik (Dhalhar, 1980), lihat Gambar 2.



Gambar 2. Petak sawah yang ditutup plastik untuk mengukur S&P (Dhalhar, 1980)

$$S\&P = Q_i - Q_o$$

$D$  = tinggi air genangan harus konstan

$Q_i$  = Debit air yang masuk

$Q_o$  = Debit air yang keluar

Dalam hubungan dengan jumlah pemakaian air untuk memenuhi keperluan perkolasi sangat dipengaruhi oleh keadaan dan jenis tanah setempat. Perkolasi yang terjadi pada

tanah liat berpasir lebih besar dari pada tanah yang mengandung liat, sehingga pada tanah liat pemberian air untuk tanaman padi cukup 0.4-0.7 liter tiap detik per hektar, sedangkan pada tanah berpasir diperlukan 4.0-6.0 liter per detik per hektar (Kotter, 1968).

Selain oleh keadaan dan jenis tanah, pemakaian air untuk perkolasi juga dipengaruhi oleh jangka waktu pengolahan tanah. Pada tanah-tanah yang baru dijadikan sawah pemakaian air dapat mencapai 3-5 kali lebih besar dari keadaan normal. Keadaan normal baru dapat dicapai setelah tanah sawah dikerjakan antara empat sampai enam tahun. Hal ini mungkin disebabkan karena lamanya waktu yang dibutuhkan untuk terbentuknya lapisan tapak bajak (plow sole) yang agak kedap air (Israelsen dan Hansen, 1962)

Kehilangan air karena perembesan kesamping (lateral seepage) dipengaruhi oleh beberapa faktor (Arsyad, 1980)

- a. Tinggi penggenangan, makin tinggi penggenangan makin besar rembesan.
- b. Keadaan galengan, adanya lubang-lubang dan gemburnya galengan dapat memperbesar perembesan.
- c. Tebalnya galengan, makin tebal galengan makin kecil rembesan.
- d. Ratio perimeter terhadap luas areal, makin tinggi ratio makin besar rembesan persatuan luas area.

Oleh karena itu rembesan kesamping dari perimeter sawah dapat dikurangi dengan penggenangan yang dangkal,



tanah liat berpasir lebih besar dari pada tanah yang mengandung liat, sehingga pada tanah liat pemberian air untuk tanaman padi cukup 0.4-0.7 liter tiap detik per hektar, sedangkan pada tanah berpasir diperlukan 4.0-6.0 liter per detik per hektar (Kotter, 1968).

Selain oleh keadaan dan jenis tanah, pemakaian air untuk perkolasi juga dipengaruhi oleh jangka waktu pengolahan tanah. Pada tanah-tanah yang baru dijadikan sawah pemakaian air dapat mencapai 3-5 kali lebih besar dari keadaan normal. Keadaan normal baru dapat dicapai setelah tanah sawah dikerjakan antara empat sampai enam tahun. Hal ini mungkin disebabkan karena lamanya waktu yang dibutuhkan untuk terbentuknya lapisan tapak bajak (plow sole) yang agak kedap air (Israelsen dan Hansen, 1962)

Kehilangan air karena perembesan kesamping (lateral seepage) dipengaruhi oleh beberapa faktor (Arsyad, 1980)

- a. Tinggi penggenangan, makin tinggi penggenangan makin besar rembesan.
- b. Keadaan galengan, adanya lubang-lubang dan gemburnya galengan dapat memperbesar perembesan.
- c. Tebalnya galengan, makin tebal galengan makin kecil rembesan.
- d. Ratio perimeter terhadap luas areal, makin tinggi ratio makin besar rembesan persatuan luas area.

Oleh karena itu rembesan kesamping dari perimeter sawah dapat dikurangi dengan penggenangan yang dangkal,





galengan yang tebal dan pemeliharaan yang baik (Arsyad, 1980).

## 7. Sifat Fisik Tanah

Sebagai sumber daya alam, tanah mempunyai dua fungsi utama yaitu sebagai sumber unsur hara bagi tumbuhan dan sebagai matrik tempat akar tumbuhan berjangkar serta air tanah tersimpan, unsur hara dan air tambahan (Arsyad, 1980).

Sifat fisik tanah berkaitan erat dengan proses kehilangan air di saluran, petak sawah yang berupa rembesan atau perkolasi. Di bidang irigasi beberapa sifat tanah yang penting adalah kapasitas tanah memegang air (water holding capacity) serta kecepatan perembesan air, baik di permukaan maupun dalam tanah (Anonymous, 1982).

Diantara sifat-sifat tanah yang erat hubungannya dengan kehilangan air, baik karena perkolasi maupun karena rembesan adalah permeabilitas tanah tersebut. Permeabilitas tanah sangat tergantung dari keadaan tekstur dan struktur tanah yang dipengaruhi oleh adanya lapisan tapak bajak, perakaran tanaman, organisme tanah (cacing-cacing tanah) atau kehidupan lainnya didalam tanah dan perubahan keasaman tanah (Israelsen dan Hansen, 1962).

Kemampuan tanah untuk menyimpan air dalam pengertian pengairan adalah banyaknya persentase kelembaban yang dapat disimpan di daerah perakaran pada batas antara kapasitas lapang dan titik layu permanen (Partowijoto, 1980).

Air didalam tanah ditahan oleh gaya absorpsi permukaan butir-butir tanah dan tegangan antara molekul air. Kapasitas menahan air dalam setiap keadaan dari kelembaban tanah adalah kira-kira pada  $pF$  4.5-7 untuk air higroskopis, 2.7-4.2 untuk air kapiler dan kurang dari 2.0 untuk air gravitasi (Sosrodarsono dan Takeda, 1978)

Banyaknya air yang dapat dikandung oleh tanah disebut kapasitas menahan air. Kapasitas menahan air maksimum adalah kapasitas pada keadaan permukaan air tanah yang tinggi. Keadaan ini adalah keadaan menahan air dengan  $pF$  sama dengan nol, yang terdapat pada bagian lapisan tanah yang terdekat pada permukaan air tanah. Kapasitas menahan air yang minimum adalah banyaknya air yang tersisa (persen) dari drainase alamiah tanah yang jenuh air. Keadaan ini disebut kapasitas lapang (field capacity) (Sosrodarsono dan Takeda, 1978).

Supaya dapat diambil oleh tanaman, maka kelembaban tanah antara kapasitas lapang dan titik layu-permanen merupakan jumlah air yang tersedia bagi tanaman (available moisture). Pada umumnya sekitar 60-70 persen dari "available moisture" merupakan jumlah air yang tersedia, secara mudah dapat dihisap oleh akar tanaman dan merupakan jumlah air yang harus dipertahankan (readily available moisture) (Partowijoto, 1980).

## 8. Jumlah Keperluan Air Bagi Tanaman

Jumlah air untuk tanaman adalah jumlah evapotranspirasi dan perkolasi. Evaporasi dan transpirasi sebagian besar dipengaruhi oleh keadaan iklim. Jumlahnya tergantung dari energi matahari yang diterima tanaman dan permukaan tanah. Perkolasi dipengaruhi oleh tekstur dan struktur tanah, tinggi rendahnya muka air tanah, permeabilitas tanah dan kedalaman tanah sampai tidak dapat dilalui air (Anonymous, 1970).

Transpirasi adalah air yang diserap tanaman melalui akar untuk pembentukan jaringan tanaman dan dikeluarkan melalui daun ke udara. Evaporasi adalah penguapan dari permukaan air, permukaan tanah dan permukaan daun tanaman. Perkolasi adalah peristiwa bergeraknya air dari profil tanah yang telah jenuh (Arsjad, 1980; Houk, 1960; Israelsen dan Hansen, 1962; Schwab et al, 1981).

Pemakaian konsumtif atau evapotranspirasi adalah jumlah air pada suatu areal yang dipergunakan tanaman untuk transpirasi, pembentukan jaringan tanaman dan yang diuapkan melalui permukaan tanah, permukaan air, serta yang diintersepsi oleh tanaman, dinyatakan dalam volume air per satuan luas, seperti meterkubik per hektar atau dalam tinggi air seperti millimeter.

Jumlah air yang dibutuhkan tanaman, tersedianya air pada tempat-tempat penampungan dan kapasitas tanah menahan air adalah perlu diperhatikan, karena menyangkut penetapan



waktu pemberian air dan berapa yang harus diberikan, (Israelsen dan Hansen, 1962).

Kebutuhan air dan pemakaian konsumtif setiap jenis tanaman tidak sama pada setiap saat, sesuai dengan stadia tumbuh tanaman tersebut, umur tanaman, temperatur dan keadaan atmosfer. Air yang dapat dipergunakan tanaman adalah air yang berada dari titik layu permanen dan kapasitas lapang. Sedangkan untuk tanaman padi sawah adalah banyaknya air yang dapat diambil dari kapasitas lapang sampai pada keadaan tanah jenuh dan tergenang (Kurnia, 1973).

Kebutuhan air bagi tanaman dinyatakan sebagai jumlah satuan air yang diisap persatuan berat kering yang dibentuk. Jumlahnya bervariasi dari 50 untuk golongan cemara sampai 2500 dalam sayuran berdaun. Jumlah kebutuhan juga dipengaruhi oleh spesies tanaman. Tiap spesies tanaman berbeda dalam pertumbuhan, kedalaman perakaran, kerapatan tanaman (jarak tanam), ketinggian tanaman dan lain-lain (Harjadi, 1979).

Hubungan laju pertumbuhan dengan kandungan air dalam tanah bagi tanaman dapat dilihat pada Gambar 3. Jumlah kebutuhan air maksimum diperoleh pada pertumbuhan optimum, sedangkan kapasitas lapang dan titik layu permanen merupakan air yang tersedia bagi tanaman (Israelsen dan Hansen, 1962).

#### a. Keperluan air untuk pengolahan tanah

Kebutuhan air bagi tanaman berbeda menurut jenis ta-

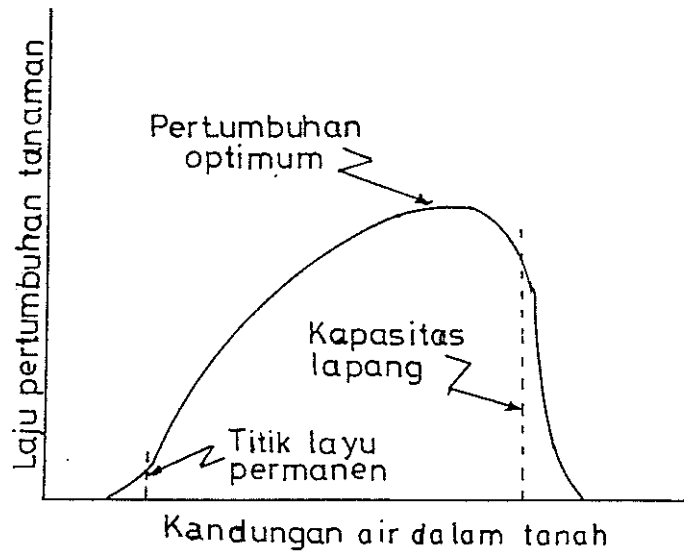


naman, tahap pertumbuhan dan lajunya pertumbuhan. Padi sawah adalah tanaman yang memerlukan air yang lebih banyak dari tanaman lain atau palawija. Karena itu kebutuhan air untuk padi sawah diambil sebagai dasar untuk menetapkan besarannya pengaliran dan ukuran-ukuran bangunan atau saluran-saluran irigasi (Gandakoesoemah, 1981).

Selain dari kebutuhan air bagi pertumbuhan, padi sawah juga memerlukan air yang lebih banyak untuk pengolahan tanah. Tujuan dari pemberian air pada pengolahan tanah yang lebih banyak adalah untuk mempermudah penghancuran bongkahan-bongkahan tanah dan pelumpuran, sehingga memudahkan persemaian dan penanaman bibit.

Pemberian air untuk pengolahan tanah pada padi sawah, bervariasi menurut kegiatannya ( bajak, garu dan pedataran) Untuk penggarapan sawah total diberikan air 1.2 liter per hektar per detik selama 45 hari lama pengolahan tanah (Gandakoesoemah, 1981). Di Malaysia pemberian air untuk pengolahan tanah sebesar 200 mm, selama jangka waktu 45 hari (Anonymous, 1967).

Jumlah pemberian air 150 mm, 200 mm, dan 250 mm, tidak berpengaruh nyata terhadap sifat fisik tanah, pertumbuhan tanaman dan komponen produksi. Yang berpengaruh terhadap produksi adalah macam kombinasi antara pengolahan tanah dengan jumlah pemberian air, yaitu dua kali bajak, dua kali garu dengan 150 mm air memberikan produksi yang lebih tinggi ( Darjadi, 1975),.



Gambar 3. Laju pertumbuhan terhadap kandungan air dalam tanah (Israelsen dan Hansen, 1962)

Banyaknya air yang digunakan selama priode pengolahan tanah berkisar antara 189-371 mm. Kelembaban tanah memberi pengaruh yang sangat nyata terhadap jumlah air yang digunakan selama priode pengolahan tanah. Perlakuan cara pengolahan tanah tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap banyaknya air yang dipergunakan selama priode pengolahan tanah, akan tetapi memberikan pengaruh terhadap sifat lumpur yang dihasilkan. Sifat lumpur yang dihasilkan dicirikan dengan nilai porositas, berkisar antara 66.42 sampai 72.22 persen "bulk density" berkisar 0.72 sampai 0.87 gram per centimeter kubik dan permeabilitas sebesar 0.172 sampai 0.187 cm per jam (Purwanto, 1975).

#### b. Pemakaian air untuk tanaman

Pemakaian air bagi tanaman berbeda menurut masing-

masing tanaman, tahap pertumbuhan dan laju pertumbuhan. Padi merupakan tanaman yang banyak memerlukan air dibandingkan dengan palawija.

Aglibur dan Caoili (1964, dalam Anonymous, 1967) melaporkan bahwa pemakaian air konsumtif varietas Ceremas di Los Banos (Philipina) adalah 0.88 cm per hari ( $88 \text{ m}^3/\text{hektar/hari}$  atau 1.02 liter per detik per hektar) selama April sampai Agustus, 1957; 0.62 cm per hari ( $62 \text{ m}^3/\text{ha/hari}$  atau 0.72 lt/dt/ha) dari Desember sampai Maret 1958; dan 0.71 cm per hari ( $71 \text{ m}^3/\text{ha/hari}$  atau 0.82 lt/dt/ha) dari Mei sampai September 1958.

Evapotranspirasi rata-rata selama stadia pertumbuhan mula-mula adalah rendah (0.43 cm/hari), kemudian naik selama pertunasan, yaitu rata-rata bertambah dengan nyata 0.74 cm/hari. Pada stadia pematangan besarnya evapotranspirasi 0.57 cm per hari (Anonymous, 1967).

Di pihak lain, IRRI (1963, dalam Anonymous, 1967), melaporkan bahwa pemakaian konsumtif padi sawah mulai 18 Februari sampai 14 Juni adalah 0.48 sampai 1.06 cm per hari (48 sampai 106  $\text{m}^3/\text{hari}$  atau 0.56 sampai 1.23 lt/dt/ha). Evapotranspirasi maksimum terjadi pada saat bunting dan dibawah kondisi sinar matahari maksimum dalam musim kemarau. Selama musim hujan rata-rata evapotranspirasi adalah 0.5 cm per hari ( $50 \text{ m}^3/\text{hari}$  atau 0.58 lt/dt/ha) dengan suatu jangka kisaran 0.19 sampai 0.78 cm per hari (0.22 sampai 0.90 lt/dt/ha).

Jumlah seluruh pemakaian air konsumtif padi sawah adalah sekitar 70 sampai 75 persen dari seluruh air. Di Indonesia air irigasi umumnya diberikan sekitar satu liter per detik per hektar dan berbeda untuk saat persemaian, pengolahan tanah, penanaman dan pertumbuhan di lapangan. Kebutuhan air 0.6 sampai 1.6 cm per hari (0.69 sampai 1.85 lt/dt/ha) terdapat dalam literatur, rata-rata adalah 0.88 cm per hari (1.02 lt/dt/ha) (IRRI, 1963 dalam Anonymous, 1967).

Kebutuhan air dari masing-masing jenis palawija berlainan sekali, karena itu palawija dibagi dalam golongan yaitu palawija yang membutuhkan banyak air dan palawija yang membutuhkan sedikit air. Palawija yang membutuhkan banyak air adalah beberapa jenis ketela, kacang tanah, bawang dan sebagainya. Palawija yang membutuhkan sedikit air adalah tembakau, lombok, kedelei, jagung dan sebagainya. (Gandakoesoemah, 1981).

Perbandingan kebutuhan airnya dapat diambil 1:2:3. Jika golongannya hanya diambil dua yaitu hanya dimasukkan dalam golongan palawija yang membutuhkan sedikit air dan banyaknya air perbandingannya 1:2.

Pemakaian air guna palawija yang membutuhkan banyak air dapat diambil 0.2 sampai 0.25 liter per detik per hektar yang kiranya bisa mendapatkan hasil yang memuaskan. Tentunya hal ini tergantung juga dari keadaan tanah dan sebagainya (Gandakoesoemah, 1981).



### c. Dasar-dasar perhitungan kebutuhan air tanaman

Berbagai macam rumus matematika telah dikembangkan dalam usaha mendapatkan nilai pendekatan jumlah kebutuhan air bagi tanaman. Telah pula diuji kebenarannya untuk masing-masing teori dan rumusnya. Berikut cuplikan dari dasar-dasar perhitungan kebutuhan air menurut:

#### (1) Metoda Blaney-Criddle (Sosrodarsono dan Takeda, 1978)

Metoda ini dipakai untuk menghitung evapotranspirasi yakni rumus empiris,

$$U = k \cdot f = \frac{k(t.p)}{100}$$

dimana  $U$  = pemakaian air konsumtif (evapotranspirasi) bulanan, dalam inchi;  $k$  = koefisien yang tergantung jenis tanaman;  $\frac{t.p}{100}$  = faktor pemakaina konsumtif iklim bulanan;  $t$  = temperatur rata-rata bulanan ( $^{\circ}\text{F}$ );  $p$  = persentase jam siang hari bulanan dalam setahun.

Dalam satuan metrik rumus Blaney-Criddle,

$$U = k \cdot p \frac{45.7t + 813}{100}$$

dimana  $U$  = pemakaian air konsumtif bulanan dalam milimeter. Harga  $k$  untuk tiap jenis atau varietas didapat dari hasil pengukuran evapotranspirasi di lapangan, yang berbeda untuk tiap jenis atau varietas, untuk suatu daerah dengan daerah lain, dan untuk tiap-tiap bulan bagi suatu jenis tanaman. Untuk prediksi secara umum harga  $k$  dari daerah dapat digunakan, jika keadaan iklim tidak berbeda besar.

Harga  $k$  dalam persamaan diatas didapat dari hubungan,



$$k = k_t \cdot k_c$$

dimana  $k_t$  = faktor penyesuaian bulanan;  $k_c$  = koefisien tanaman bulanan. Berdasarkan atas pengalaman-pengalaman yang didapat di Indonesia, besarannya  $k_c$  ditaksir, untuk persemaian 0.45, pengolahan tanah 0.90, untuk masa tanam 0.95 dan masa tumbuh 1.00. Besaran  $k_t$  di dapat dari hubungan,

$$k_t = 0.0311t + 0.240$$

(2) Metoda Penman (Israelsen dan Hansen, 1962)

Evaporasi potensial menurut Penman yakni,

$$E_o = \frac{\Delta H + 0.27 E_a}{\Delta - 0.27}$$

dimana nilai H dan  $E_a$  diperoleh dari,

$$H = R_A (1-r)(0.18 + 0.55 n/N) - \sigma T_a^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{e_d})(0.10 + 0.90 n/N)$$

$$E_a = 0.35 (e_a - e_d)(1 + 0.0098 u_2)$$

dimana H = radiasi panas yang diterima permukaan bumi (mm H<sub>2</sub>O/hari);  $R_A$  = radiasi extraterrestrial bulanan rata-rata (mm H<sub>2</sub>O/hari); r = koefisien pemantulan permukaan; n = lamanya penyinaran matahari yang sesungguhnya; N = kemungkinan penyinaran matahari maksimum;  $\sigma$  = konstanta Boltzman;  $\sigma T_a^4$  = mm H<sub>2</sub>O/hari (tabel);  $e_d$  = rata-rata tekanan uap jenuh pada permulaan titik beku;  $E_a$  = evaporasi (mm/hari);  $e_a$  = rata-rata tekanan uap jenuh pada keadaan temperatur udara; kecepatan angin rata-rata pada ketinggian

dua meter diatas permukaan tanah (mil/hari);  $u_2 = u_1 \frac{\log 6.6}{1.1 \log h}$   
 $u_1$  = pengukuran kecepatan angin pada ketinggian h (feet),  
 (mil/hari);  $E_o$  = evaporasi potensial (mm/hari) ;  $\Delta$  = lereng  
 hubungan tekanan uap jenuh-jenuh, temperatur absolut  $T_a$   
 dalam  $^{\circ}\text{F}$  (mm.Hg/ $^{\circ}\text{F}$ ). Selanjutnya rumus Penman merubah  
 evaporasi potensial menjadi evapotranspirasi aktual seba-  
 gai berikut:

$$U = c E_o$$

dimana U = evapotranspirasi aktual; c = koefisien tanaman  
 $E_o$  = Evaporasi potensial.

### (3) Metoda Thornthwaite

Hubungan evapotranspirasi dan suhu adalah:

$$e = c \cdot t^a$$

dimana e = evapotranspirasi potensial bulanan (cm/bln)

c = koefisien tanaman; a = konstanta; t = suhu udara rata-  
 rata bulanan ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$a = 675 \times 10^{-7} I^3 - 771 \times 10^{-5} I^2 + 0.01792 I \\ + 0.49239$$

$$I = \frac{12}{\sum_{i=1}^{12}} \left( \frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

dimana I = jumlah 12 bulan suhu udara rata-rata bulanan

### (4) Metoda Panci Evaporasi

Data yang diperlukan untuk metoda ini adalah nilai  
 dari evaporasi panci klas A (rata-rata) dalam mm per hari,  
 yang dihitung dengan pendekatan kelembaban relatif rata-  
 rata ( RH dalam persen ) dan kecepatan angin ( km/hari  
 pada ketinggian dua meter diatas permukaan tanah).

$$ET_o = k_{pan} \cdot E_{pan}$$

dimana  $E_{pan}$  = evaporasi harian rata-rata dari panci klas A dalam mm/hari pada bulan yang diamati.

$k_{pan}$  = koefisien panci berdasarkan kelembaban udara dan kecepatan angin setempat.

Kebutuhan air bagi tanaman dengan perhitungan metoda panci klas A, diperoleh dengan mengalikan nilai  $ET_o$  dengan koefisien tanaman, yang tergantung dari keadaan tempat tanaman tumbuh, (Doorenbos and Kassam, 1979).

## 9. Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah jumlah hujan yang efektif digunakan di areal pengairan (Anonymous, 1973). Menurut Dastene(1974) curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan yang diserap oleh daun atau tanaman kering, hilang melalui evaporasi dari permukaan tanah, hilang melalui perkolasi dan pencucian.

Jumlah curah hujan jatuh yang efektif untuk pertumbuhan tanaman tergantung pada intensitas curah hujan, topografi daerah, sistim penanaman dan tahap pertumbuhan tanaman (Oldeman and Sjarifuddin, 1977).

Banyak faktor yang mempengaruhi curah hujan efektif diantaranya (Anonymous, 1973):

- a. Intensitas dan distribusi curah hujan
- b. Kedalaman genangan air pada padi
- c. Metoda irigasi dan interval pemberian air
- d. Topografi lahan

- e. Ukuran dan pemeliharaan tanggul sawah
- f. Fasilitas untuk drainase

Curah hujan efektif dapat ditentukan dengan metoda empiris. Menurut Oldeman dan Sjarifuddin (1977) rumus yang berlaku untuk perhitungan curah hujan efektif adalah dari curah hujan rata-rata bulanan dengan peluang terlewat 75 persen, dimana efektifitasnya 100 persen untuk padi sawah dan 75 persen untuk non padi sawah (upland crop).

- a. Rumus curah hujan efektif untuk padi sawah

$$Pe = 1.0 (0.82 \bar{X} - 30)$$

- b. Rumus curah hujan efektif non padi sawah

$$Pe = 0.75 (0.82 \bar{X} - 30)$$

dimana  $Pe$  = Curah hujan efektif bulanan dan  $\bar{X}$  = curah hujan rata-rata bulanan.

Pengukuran curah hujan efektif di lapangan agak sukar sehingga dalam prakteknya harus didekati dengan efisiensi irigasi yang merupakan bentuk indek irigasi. Curah hujan efektif sukar diukur, karena tidak hanya tergantung dari intensitas, lamanya dan distribusi curah hujan, tetapi juga dipengaruhi oleh bentuk pemberian dan sistim pengelolaan di sawah, terutama pengelolaan penyaluran ( Bhuiyan, 1982).

#### 10. Keseimbangan Air di Petak sawah

Keseimbangan air di petak sawah bertujuan untuk menghitung jumlah air yang harus diberikan ke petak sawah dari saluran irigasi. Rumusnya menurut Van De Goor (1968,

dalam Kurnia, 1973).

$$I_s + R_e + I_g = S + U + G_v + G_h + O_s$$

dimana  $I_s$  = air yang masuk ke petakan sawah;  $R_e$  = besarnya curah hujan efektif;  $I_g$  = air yang masuk melalui rembesan dari samping;  $S$  = jumlah air yang tersedia pada permukaan atau di dalam tanah;  $U$  = evapotranspirasi atau pemakaian konsumtif;  $G_v$  = perkolasi ke bawah;  $G_h$  = perkolasi ke samping;  $G_v + G_h$  = jumlah seluruh perkolasi;  $O_s$  = air yang keluar dari petak sawah melalui permukaan tanah dan bocoran-bocoran galengan, bila  $I_g = 0$ , maka rumusnya menjadi,

$$I_s = ((U - R_e) + S + P) + O_s$$

Persamaan diatas menunjukkan banyaknya air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi sepetak sawah. Untuk mengairi sawah, besaran  $S$  adalah jumlah air untuk menje-nuhkan tanah dan tinggi air yang menggenangi sawah. Se-dangkan besaran  $O_s$  dapat diperkecil dengan memperbaiki cara pemberian air dan perbaikan-perbaikan galengan di sa-wah.

Setelah tercapai harga  $S$  yang mantap maka banyaknya air irigasi yang diperlukan ditentukan oleh nilai  $U$  dan  $P$ . Dengan pencatatan pengamatan hujan, serta penetapan nilai curah hujan efektif, maka kebutuhan irigasi konsumtif ( $i$ ) dapat ditentukan, yaitu

$$i = (U - R_e)$$

maka  $i$  = kebutuhan air yang harus diberikan ke sawah;



$U$  = pemakaian konsumtif dan  $R_e$  = curah hujan efektif. Banyaknya air yang harus dialirkan kepetak sawah diperhitungkan dengan efisiensi sumber air.

#### 11. Efisien Penggunaan Air Tanah untuk Irigasi

Ditinjau dari segi pertanian, maka efisien irigasi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah air yang nyata bermafaat bagi tanaman yang diusahakan terhadap jumlah air yang tersedia atau diberikan (Partowijoto, 1980). Dalam hal ini dapat dikemukakan beberapa konsep efisiensi irigasi (Israelsen dan Hansen, 1962 dan Olivier, 1972)

##### a. Efisiensi penyaluran air (water conveyance efficiency)

$$E_c = 100 \frac{W_f}{W_r}$$

dimana,  $E_c$  = efisiensi penyaluran air

$W_f$  = Jumlah air yang sampai di areal tanaman

$W_r$  = Jumlah air yang dialirkan dari sumber.

Efisiensi penyaluran air dipengaruhi oleh macam dan keadaan saluran pembawa, seperti penampang, macam bahan pelapis, tingkat pemadatan tanah atau panjang saluran. Selama dalam penyaluran kehilangan air dapat berupa perkolasi, evaporasi, perembesan (seepage) atau bocoran.

Didasarkan pada jenis tanaman, efisiensi pemakaian air adalah perbandingan antara jumlah air irigasi yang diperlukan oleh tanaman untuk evapotranspirasi ( $ET_{crop}$ ) dengan jumlah air irigasi yang diberikan pada periode



tertentu. Adapun pemberian air bagi padi sawah berbeda dengan pemberian air bagi palawija. Untuk padi sawah diperlukan penggenangan, dimana perkolasi terjadi dianggap faktor yang tidak boleh diabaikan, maka perkolasi pada padi sawah bukan merupakan suatu kehilangan. Sedangkan palawija kehilangan karena perkolasi dianggap suatu kehilangan air. Dengan demikian efisiensi pemakaian air tanah untuk tanaman bukan padi sawah dirumuskan ( Anonymous, 1982).

$$E_a = \frac{ET - P}{IR - O}$$

Rumus untuk padi sawah,

$$E_a = \frac{ET - P + PRK}{IR - O}$$

dimana:  $E_a$  = efisiensi pemakaian air bagi tanaman

ET = Evapotranspirasi

P = Curah hujan efektif

IR = Jumlah air irigasi yang diberikan ke petak tersier

O = Jumlah air yang keluar dari petak tersier

PRK= Perkolasi

Efisiensi kebutuhan air dipengaruhi oleh tekstur tanah, jumlah dan distribusi tanaman, profil dari permukaan tanah, distribusi perakaran dalam tanah dan kadar air yang bervariasi dalam tanah. Faktor ini dipengaruhi oleh kehilangan air karena evaporasi dari permukaan tanah dan kehilangan air karena perkolasi yang turun dalam lapisan akar

(Israelsen dan Hansen, 1962).

Menurut Blaney dan Criddle (1962, dalam Anonymous, 1967), efisiensi irigasi berkisar antara 35-65 persen. Efisiensi irigasi suatu proyek yang cukup baik sistem pengelolaannya pada beberapa tipe tanah seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Efisiensi Irigasi pada Beberapa Tipe Tanah (Blaney dan Criddle, 1962)

Bentuk	Tipe Tanah		
	Terbuka porus (%)	Lempung sedang (%)	Liat berat (%)
Field irrigation efficiency	60	75	65
Farm irrigation efficiency	45	65	65

Efisiensi irigasi dapat dipertinggi dengan (Blaney dan Criddle dalam Anonymous, 1967):

- (1) Mengurangi tinggi penggenangan
- (2) Melakukan pergiliran (golongan), pergiliran dapat berupa saluran sekunder, saluran tersier, berdasarkan petak sawah. Pergiliran dengan dasar saluran sekunder dan tersier lebih mudah dikerjakan.
- (3) Pemeliharaan saluran merupakan faktor yang tidak boleh diabaikan.



## 12. Penggunaan Pompa dan Uji Akuifer

### Penggunaan Pompa

Tujuan penggunaan pompa antara lain pengadaan air bagi tanah-tanah yang tidak mungkin diairi dengan sistim tradisional atau secara gravitasi, karena letak tanah berada di atas permukaan sumber air dan memanfaatkan sumber sumber air tanah (Israelsen dan Hansen, 1962).

Irigasi pompa layak digunakan pada tempat dimana tersedia air, tetapi permukaan air lebih rendah dari daerah yang akan diairi. Tipe irigasi ini juga dapat menjamin penanaman padi selama musim kering di daerah tadah hujan (Anonymous, 1967).

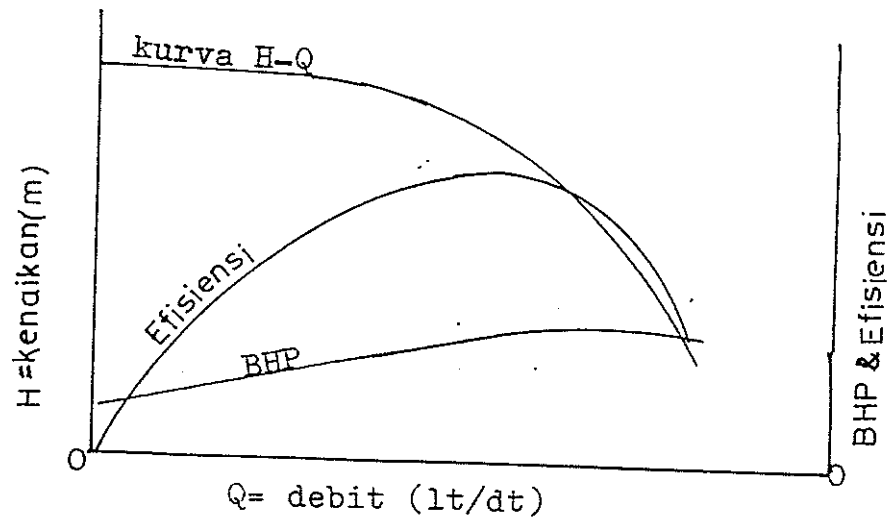
Penggunaan pompa dalam usaha pengairan air dari sumber diperlukan pemelihan pompa yang sesuai dengan kondisi untuk operasi dan mempunyai efisiensi yang tinggi. Setiap pompa mempunyai kurva karakteristik masing-masing. Hubungan antara kecepatan putaran (rpm), tinggi kenaikan (head) debit yang dihasilkan dan tenaga dapat dilihat pada kurva karakteristik Gambar 4. (Israelsen dan Hansen, 1962 dan Schwab et al, 1981).

Efisiensi penggunaan pompa dapat dihitung dengan rumus berikut (Israelsen dan Hansen, 1962 dan Schwab et al, 1981).

$$WHP = \frac{QH}{273}$$

dimana WHP = Water Horse Power, Q = debit air (m<sup>3</sup>/jam)

H = tinggi kenaikan (m). WHP adalah tenaga yang diguna-



Gambar 4. Kurva Karakteristik Pompa Pusingan (Israelsen dan Hansen, 1962)

kan untuk memompa air pada ketinggian dan debit tertentu. Sedangkan tenaga yang tersedia pada motor dan siap digunakan untuk bekerja disebut "Brake Horse Power" (BHP). Rumus efisiensi adalah:

$$E_p = \frac{WHP}{BHP}$$

dimana  $E_p$  = efisiensi pompa; WHP = Water Horse Power; BHP = Brake Horse Power.

### Uji Akuifer

Maksud uji akuifer (pumping Test) adalah untuk mengetahui ketetapan akuifer seperti koefisien permeabilitas dan koefisien penampungan (storage coefficient). Jadi uji akuifer itu adalah penting untuk perencanaan sumur dan pengontrolannya (Sosrodarsono dan Takeda, 1978).

Tujuan lain bagi uji akuifer adalah untuk mengetahui debit air konstan yang dihasilkan pada pemompaan dalam waktu tertentu, sehingga perencanaan pemanfaatan air tanah

dapat dipastikan.

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1978) rumus perhitungan uji akuifer dibagi dua jenis, yakni rumus tidak keseimbangan (non equilibrium formula) dengan konsep waktu dan rumus keseimbangan tanpa konsep waktu.

Banyak rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya koefisien transmisibilitas diantaranya rumus tidak keseimbangan Jacob yang dipengaruhi konsep waktu:

$$T = \frac{2.3 Q}{4\pi \Delta s}$$

$$S = \frac{2.25 T t_o}{r^2}$$

dimana  $T$  = koefisien transmisibilitas;  $S$  = koefisien penampungan;  $Q$  = debit pemompaan tetap;  $\Delta s$  = selisih  $s$  dalam satu siklus logaritmis dalam  $t$ ,  $t_o$  = harga  $t$  untuk  $s = 0$ ;  $r$  = jarak dari sumur pompa ke sumur pengamatan.

Untuk rumus keseimbangan adalah jika permukaan air tanah mencapai keseimbangan selama pemompaan yang tetap, maka dapat diterapkan rumus Thiem (Sosrodarsono dan Takeda, 1978): dengan sumur pengamatan

$$K = \frac{0.732 Q}{(h_1 + h_2)(s_1 - s_2)} \log \frac{r_2}{r_1}$$

dimana  $K$  = koefisien permeabilitas,  $Q$  = besar pemompaan yang tetap,  $s_1$  dan  $s_2$  penurunan muka air tanah di sumur pengamatan,  $r_1$  dan  $r_2$  jarak dari sumur pemompaan ke sumur pengamatan,  $h_1$  dan  $h_2$  tinggi dari permukaan lapisan kedap air.

### 13. Perencanaan Linear

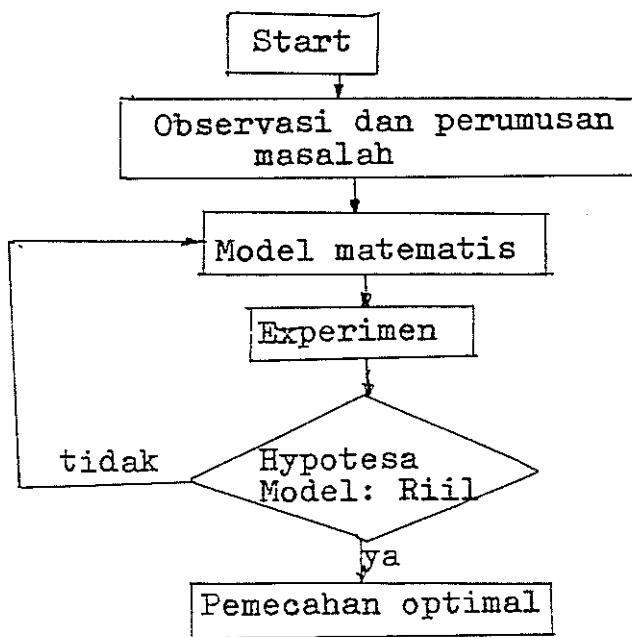
Linear Programming (perencanaan linear) ialah salah satu metoda pemecahan masalah didalam Operation Research yang digunakan untuk memecahkan suatu masalah penentuan alokasi yang sedemikian rupa dari sumber yang terbatas, yang sama-sama dibutuhkan oleh beberapa macam kepentingan yang saling berhubungan untuk suatu tujuan, sehingga tujuan tersebut akan dicapai secara optimal (Suprodjo dan Purwadi, 1982 dan Simarmata, 1982).

Pengertian optimal dalam penyelesaian masalah pada hakekatnya merupakan hasil ekstrim penyelesaian suatu persoalan sesuai dengan kekangan tingkat keadaan lingkungan atau "state of nature" yang harus dipenuhi. Nilai optimum dalam kenyataan dapat maksimum dan dapat minimum. Kalau persoalan yang akan diselesaikan dicari nilai maksimum, maka keputusannya berupa maksimisasi dan sebaliknya disebut minimisasi. Contoh penyelesaian yang mencari maksimisasi adalah laba, hasil produksi, jumlah jam kerja peralatan, luas lahan yang harus diairi dan sebagainya. Penyelesaian mencari nilai minimisasinya adalah ongkos produksi, kerusakan, waktu menganggur, kehilangan air dan sebagainya (Suprodjo dan Purwadi, 1982 dan Hiller, 1978).

Usaha mendekati masalah secara sistematis mengikuti langkah yang dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir berikut:







Gambar 5. Langkah-langkah pemecahan masalah

Bentuk matematis cara pemecahan masalah dengan Perencanaan Linear sebagai berikut (Hiller., 1978 dan Suprodjo dan Purwadi, 1982).

Maksimisasi:  $Z_{\max} = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$

Ken dala:  $a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$

$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$

$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$

non negatif:  $X_1 \geq 0; X_2 \geq 0; \dots X_n \geq 0$

dimana:

$Z_{\max}$  = sebagai ukuran keberhasilan atau fungsi tujuan (objective function).

$X_n$  = decision variabel

$a_{mn}$  = jumlah sumber daya  $m$  yang dikonsumsi oleh setiap unit kegiatan  $n$

$c_n$  = koefisien variabel ( cost )

$b_m$  = jumlah sumber daya  $m$  yang tersedia untuk dialokasikan

$m$  = jumlah sumber daya yang terbatas

$n$  = jumlah kegiatan yang memerlukan sumber daya yang terbatas

Perencanaan Linear untuk proyek irigasi sumber daya dapat berupa air, pupuk, pestisida, mesin-mesin, modal dan kredit. Apabila  $X_j$  adalah luas tanaman  $j$ , maka  $a_{ij}$  adalah sumber daya  $i$  (air, pupuk, mesin-mesin atau lain-lain) yang dibutuhkan oleh tiap unit luas tanaman  $i$ . Apabila tujuan proyek irigasi adalah mencapai pendapatan tertinggi, maka  $c_j$  adalah pendapatan bersih dari tiap unit luasan tanaman  $j$ . Nilai  $c_j$  sama dengan satu bila tujuan proyek irigasi adalah luas tanaman terbesar. Terakhir  $b_i$  adalah jumlah tiap sumber daya  $i$  (air, pupuk atau yang lain) yang tersedia (Louck, et al, 1977 dalam Bahri, 1982)

Bentuk dari perencanaan linear diatas adalah bentuk standard. Untuk mendekati suatu masalah ke perencanaan linear yang standard diperlukan perubahan model matematis. Dalam penyelesaian masalah perencanaan linear semua model matematis diselesaikan menurut prosedur penyelesaian model matematis perencanaan linear yang standard, sehingga semua bentuk matematis perencanaan linear perlu lebih dahulu disusun dalam bentuk yang standard (Suprodjo dan Purwadi, 1982).



### III. BAHAN DAN METODA

#### 1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di P2AT Sub Proyek Gunung Kidul. Kegiatan penelitian mencakup pengamatan, pengukuran dan pencatatan data sekunder selama bulan Juni dan Juli, 1983.

#### 2. Alat-alat yang Digunakan

- Satu buah sekat ukur Thompson
- Satu set alat ukur aliran (Current meter)
- Satu set alat pengambilan contoh tanah (ring sample)
- Meteran
- Kalkulator dan pensil

#### 3. Metoda

Dalam penelitian ini sebagian besar pencatatan data sekunder dan hanya beberapa kegiatan yang diukur langsung. Sedangkan metoda yang diterapkan pada masing-masing kegiatan adalah:

##### a. Pengukuran Kehilangan Air di Saluran

Pengukuran kehilangan air di saluran dengan metoda "inflow-outflow", memakai alat ukur debit, sekat ukur Thompson dan Current meter, yang diukur pada saluran tanah dan saluran yang dilapisi dengan bataco (semen kapur) pada beberapa tempat. Pengukuran ini diharapkan dapat mewakili dari keseluruhan saluran.

## b. Pengukuran Perkolasi dan Perembesan

Penentuan perkolasi dan rembesan dengan menggunakan petak percontohan (sawah) yang ditutup dengan plastik, sehingga selisih air yang masuk dengan yang keluar dari petakan sawah merupakan nilai dari perembesan dan perkolasi. Penentuan perkolasi juga dapat diukur dengan selisih dari kehilangan air alat pengukur perkolasi tanpa alas dengan yang beralas. Cara kerjanya lihat Gambar 1.

## c. Analisa Sifat Fisik Tanah

Contoh tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm di beberapa tempat, dengan menggunakan Ring sample dan kemudian dianalisa di Laboratorium Fisika Tanah. Tujuan analisa sifat fisik tanah diantaranya untuk mengetahui "bulk density", kadar air pada pF 1.0, 2.0, 2.54 dan 4.2, porositas dan pori drainase (cepat dan lambat), serta permeabilitas tanah, sehingga diperoleh kadar air yang tersedia untuk tanaman dalam perencanaan irigasi.

## d. Kebutuhan air untuk setiap pola tanam

(1) Jumlah keperluan air bagi pengolahan tanah, adalah kebutuhan air untuk penjemuran tanah, menggantikan yang hilang karena perkolasi dan rembesan, untuk menggantikan karena evaporasi dan penggenangan selama pengolahan tanah.

(2) Menghitung pemakaian air untuk tanaman (evapotranspirasi). Evapotranspirasi dihitung dengan metoda Evaporasi Panci Klas A,

$$E_{To} = k_{pan} \times E_{pan}$$

dimana:  $E_{pan}$  = evaporasi harian (mm/hari)

$k_{pan}$  = koefisien panci

Nilai  $E_{pan}$  diperoleh dari data pengukuran stasiun klimatologi setempat (Lampiran 2),  $k_{pan}$  didapat dari prediksi nilai kelembaban (Lampiran 3) dengan kecepatan angin setempat. Untuk koefisien tanaman didapat dari hasil penelitian daerah setempat (Lampiran 4) yang dibagi menurut tahap pertumbuhan tanaman.

#### e. Menghitung Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif dihitung dengan data curah hujan rata-rata bulanan (Lampiran 1). Rumus perhitungan hujan efektif menurut Oldeman dan Sjarifuddin (1977) yang berlaku untuk pulau Jawa.

Rumus untuk curah hujan efektif bagi padi sawah:

$$Pe = 1.0 (0.82 \bar{X} - 30)$$

Untuk non padi sawah (palawija):

$$Pe = 0.75 (0.82 \bar{X} - 30)$$

dimana;  $Pe$  = curah hujan efektif (mm/bln),  $\bar{X}$  = rata-rata curah hujan bulanan (mm/bln)

#### f. Keseimbangan air di petak sawah

Kebutuhan air irigasi untuk pertanaman digunakan rumus keseimbangan air di petak sawah (lt/dt/Ha).

$$Is = ((U - Re) + S + P) + Os$$

dimana Is = debit air yang masuk (diberikan) ke petak sawah; U = evapotranspirasi; Re = curah hujan efektif; S = jumlah air yang tersedia di dalam tanah; P = jumlah perkolasi;; Os = air yang keluar dari petakan sawah melalui permukaan tanah dan bocoran galengan.

#### g. Efisiensi pemanfaatan air tanah

Didasarkan pada jenis tanaman efisiensi pemakaian air adalah perbandingan antara jumlah air irigasi yang diperlukan oleh tanaman untuk evaporasi dengan jumlah air irigasi yang diberikan pada priode tertentu. Efisiensi irigasi berbeda untuk padi sawah dan palawija.(Anonymous,1982).

Rumus untuk palawija:

$$Ep = \frac{U - Re}{Is - Os}$$

Rumus untuk padi sawah:

$$Ep = \frac{U - Re - P}{Is - Os}$$

dimana Ep = efisiensi pemakaian air bagi tanaman; U = evapotranspirasi; Re = curah hujan efektif; P = perkolasi; Is = air yang diberikan ke petak sawah; Os = air yang keluar dari petak sawah.

#### h. Ketersediaan air bagi tanaman

Penggunaan pompa dan uji akuifer adalah untuk menye-



diakan dan pendugaan debit air tanah dari sumber (akuifer) bagi keperluan tanaman. Pengujiannya dengan mendapatkan debit konstan dan penurunan muka air dalam akuifer konstan dengan operasi pompa.

#### i. Pendekatan masalah pada Perencanaan Linear

Sistim alokasi air tanah di P2AT Sub Proyek Gunung Kidul didekati dengan permasalahan yang ada, kemudian di coba memecahkan masalah tersebut dengan sistim Perencanaan linear. Untuk itu diambil satu sumur sebagai contoh dan sebagai pendukung dicoba dengan masalah yang ada di tempat tersebut.

Sebagai asumsi dalam perencanaan linear ini adalah:

- a. Kapasitas pompa maksimum ketika memompa air dari sumur, 19 lt/dt debit konstan dan 28 lt/dt debit rancangan pompa.
- b. Ketersediaan air dari akuifer tidak berubah menurut musim, baik musim hujan maupun musim kemarau, sehingga debit aliran selalu konstan.
- c. Tidak terjadi perubahan pola pertanian yang telah dikembangkan di daerah tersebut.
- d. Efisiensi irigasi berlaku untuk semua blok persawahan.
- e. Semua fungsi harus linear
- f. Semua parameter dari perencanaan linear ini dianggap berlaku sesuai dengan kondisi setempat.

Penyediaan air oleh pompa dengan debit  $Q_s$  (lt/dt), tetapi karena tergantung efisiensi saluran, maka debit yang tersedia untuk petak sawah  $Q_t$ . Keperluan air bagi tanaman (consumtif use) adalah  $q$  (lt/dt/Ha), yang dipengaruhi oleh jenis tanaman (pola tanam) dalam hal ini dinyatakan sebagai  $i$  ( $i=1,2,3,\dots,m$ ), tergantung sub-seksi  $j$  ( $j=1,2,3,\dots,n$ ) dan dipengaruhi oleh waktu tanam  $t$  (bulan) ( $t=1,2,3,\dots,12$ ).

Bila luas areal yang ditanami adalah  $X_{ij}$ , dengan tanaman  $i$  dan petak  $j$ , maka diperoleh keperluan air bagi tanaman pada musim tanam tertentu adalah:

$$X_{ij} \times q_{ijt}$$

Keperluan air pada musim tertentu tidak boleh melebihi  $Q_t$  yang tersedia:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^{12} X_{ij} \times q_{ijt} \leq Q_t$$

Jumlah luas areal yang ditanami pada musim tanam tersebut tidak boleh melebihi luas areal keseluruhan (Command area)  $A$  (Ha).

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq A$$

Secara matematik maksimum luas areal yang dapat di-air dan pola tanam, serta waktu tanam yang diharapkan adalah:

Fungsi Tujuan: Maksimisasi

Penyediaan air oleh pompa dengan debit  $Q_s$  (lt/dt), tetapi karena tergantung efisiensi saluran, maka debit yang tersedia untuk petak sawah  $Q_t$ . Keperluan air bagi tanaman (consumtif use) adalah  $q$  (lt/dt/Ha), yang dipengaruhi oleh jenis tanaman (pola tanam) dalam hal ini dinyatakan sebagai  $i$  ( $i=1,2,3,\dots,m$ ), tergantung sub-seksi  $j$  ( $j=1,2,3,\dots,n$ ) dan dipengaruhi oleh waktu tanam  $t$  (bulan) ( $t=1,2,3,\dots,12$ ).

Bila luas areal yang ditanami adalah  $X_{ij}$ , dengan tanaman  $i$  dan petak  $j$ , maka diperoleh keperluan air bagi tanaman pada musim tanam tertentu adalah:

$$X_{ij} \times q_{ij,t}$$

Keperluan air pada musim tertentu tidak boleh melebihi  $Q_t$  yang tersedia:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^{12} X_{ij} \times q_{ij,t} \leq Q_t$$

Jumlah luas areal yang ditanami pada musim tanam tersebut tidak boleh melebihi luas areal keseluruhan (Command area)  $A$  (Ha).

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq A$$

Secara matematik maksimum luas areal yang dapat di-air dan pola tanam, serta waktu tanam yang diharapkan adalah:

Fungsi Tujuan: Maksimisasi

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}$$

Fungsi pembatas:

$$\text{Air: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^{12} X_{ij} \times q_{ijt} \leq Q_t$$

$$\text{Tanah: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq A$$

$$\text{Non negatif: } X_{ij} \geq 0, \quad A \geq 0$$

dimana:  $Z$  = Luas maksimum areal yang dapat diairi

$X_i$  = Luas petakan yang terairi dengan pola tanam  $i$  (Ha)

$Q_t$  = Debit air yang tersedia di petakan sawah, dalam waktu tanam  $t$  (bulan)

$q_{ijt}$  = Keperluan air bagi tanaman  $i$ , pada petak  $j$  dan pada waktu tanam  $t$  (lt/dt/Ha)

$A$  = Luas lahan yang tersedia untuk operasi satu pompa (Ha).

$i$  = Pola tanam sebagai alternatif ( $i=1,2,\dots,m$ ).

$j$  = Sub-seksi petakan ( $j=1,2,3,\dots,n$ ).

$t$  = Waktu tanam (bulan).

Untuk mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan dalam perencanaan linear diperoleh dari pengolahan data sekunder, pengukuran dan pengamatan. Parameter-parameter yang diasumsikan adalah berdasarkan pada keadaan lingkungan setempat.



#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 1. Kehilangan Air di Saluran

Kehilangan air di saluran diperoleh sebagai hasil selisih pengukuran debit air dengan metoda "inflow-outflow", memakai sekat ukur Thompson dan Current meter tipe bendung. Pengukuran dilakukan di saluran tanah lokasi IV dan saluran yang dilapisi dengan batako (semen kapur) di lokasi I (Lampiran 17).

Kehilangan air di saluran lokasi I, besarnya 5.6 persen dan saluran lokasi IV besarnya 19.0 persen. Panjang jaringan saluran yang dilapisi batako (saluran utama) 2100 meter, sedangkan saluran tanah tidak diperhitungkan panjangnya, karena penggunaan terbatas pada petak persawahan tertentu. Artinya tidak semua blok mempunyai saluran tanah, ada yang langsung pengaliran kesawah melalui saluran utama.

Kehilangan air di saluran lokasi I lebih kecil dari saluran lokasi IV. Hal ini disebabkan saluran I, dinding dan dasarnya saluran terbuat dari batako, sedangkan saluran lokasi IV sebagian dari tanah, sehingga kehilangan air lebih besar. Kemungkinan lain adalah saluran di lokasi IV yang dari tanah, banyak ditumbuhi rumput yang dapat menghambat lajunya air dalam saluran dan pengukuran pada saat air baru saja dialirkan, setelah dikeringkan beberapa minggu atau kemungkinan juga kondisi tanah kering, sehingga

diperlukan waktu untuk penjemuran tanah yang telah kering.

Jarak lokasi sawah dengan sumber air ada yang berdekatan. Air dari sumber langsung dialirkan dari saluran utama ke sawah. Untuk lokasi yang jauh sebagian harus melalui saluran tanah, maka pengukuran kehilangan air di saluran kurang bisa mewakili dari keseluruhan efisiensi saluran. Letak lokasi yang berbeda, tingkat kelembaban tanah, topografi saluran dan berbedanya bahan pelapis saluran mempengaruhi kehilangan air disaluran.

## 2. Perkolasi dan Rembesan

Berdasarkan hasil perhitungan data penelitian P2AT Gunung Kidul, perlokasi dan rembesan di peroleh seperti yang tertera pada Tabel 3. Jumlah perkolasi dan rembesan dianggap sama untuk padi sawah dan palawija.

Tabel 2. Perkolasi dan Rembesan (mm/bln)

Bulan											
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
155	145	155	150	155	150	155	155	150	155	150	155

Dalam perhitungan besarnya perkolasi dan rembesan, didasarkan pada data perkolasi dan rembesan harian atau mingguan, masing-masing 5 mm/hari dan 35 mm/minggu, sehingga terlihat dalam Tabel 3, besaran perkolasi dan rembesan mempunyai nilai sama yang harinya 30 hari per bulan dan



dan 31 hari per bulan, masing-masing 150 mm dan 155 mm, sedangkan pada bulan Februari besarnya 145 mm, ini disebabkan pada bulan tersebut dianggap 29 hari per bulan.

Penelitian mengenai perkolasi dan rembesan oleh So-maatmadja (1974) mendapatkan bahwa besarnya perkolasi pada berbagai tahap pertumbuhan tanaman selama semusim menunjukkan rata-rata 1.35 mm/hari. Menurut Furba dan Bhui-yan (1983), rata-rata laju perkolasi 1.4 mm/hari pada musim kemarau dan 1.6 mm/hari pada musim penghujan. Menurut Wickham dan Singh (1981, dalam Bahri, 1982) besarnya perkolasi dan rembesan 2 mm/hari untuk musim hujan dan 4 mm/hari untuk musim kemarau. Berdasarkan penelitian di atas bahwa besarnya perkolasi dan perembesan di daerah Gunung Kidul (sumur Jatisari) tidak jauh menyimpang.

Besarnya perkolasi dan rembesan hasil penelitian P2AT Gunung Kidul, tidak ada pembagian untuk musim penghujan dan musim kemarau. Jumlah perkolasi dan rembesan dianggap rata-rata 5 mm/hari sepanjang tahun. Anggapan ini kemungkinan disebabkan tanah di daerah Gunung Kidul tingkat penyerapan air oleh tanah pada musim penghujan dan kemarau dianggap sama. Disamping itu sifat fisik tanah daerah Gunung Kidul banyak mengandung kapur, sehingga bila tanah basah dengan air, tanahnya menjadi liat. Air cepat diserap pada saat tanah kering, tetapi bila tanah sudah jenuh laju penyerapan air lambat.

### 3. Sifat Fisik Tanah

Di daerah Gunung Kidul umumnya tanah hitam margalitit grumusols, dan tanah merah lateritik batu kapur. Kedua jenis tanah cocok untuk irigasi, tetapi kurang subur. Nilai peresapan air lambat, 0.817 cm/jam bila tanah belum jenuh, 0.006 cm/jam bila sudah jenuh untuk tanah margalitit grumusol. Jenis tanah lateritik batu kapur laju peresapan air 0.028 cm/jam bila belum jenuh, 0.006 cm/jam bila sudah jenuh (Mcdonald et al, 1979)

Dari hasil analisa di Laboratorium (Lampiran 5), bahwa nilai "buld density", porositas, kadar air pada berbagai tegangan dan air yang tersedia terlihat perbedaan kedalaman (0-20) dan (20-40) tanah menunjukkan sedikit sekali perbedaannya atau dengan kata lain tidak berbeda nyata.

Dalam hubungan dengan perencanaan irigasi porositas tanah menunjukkan rata-rata 58.93 persen diantara penyebaran 56.23-62.64 persen, maka tanah tersebut belum terbentuk lapisan olah atau lapisan tapak bajak (plow sole). Begitu juga nilai "buld density" rata-rata 1.09 g/cc menunjukkan tanah tersebut tingkat pematatannya belum mantap, sehingga peresapan air dalam tanah sebelum jenuh besar, tetapi setelah jenuh penurunan (perkolasi) agak lambat. Hal ini disebabkan oleh jenis tanah yang mengandung kapur, yang apabila basah tanah menjadi liat dan usaha tani yang dikembangkan lebih sering tanaman palawija dari

pada padi sawah. Palawija memerlukan air sedikit dan kurang diperlukan air pada pengolahan tanah, sehingga lapisan olah agak lambat terbentuk.

#### 4. Jumlah Kebutuhan Air bagi Tanaman

##### Keperluan air untuk pengolahan tanah

Keperluan air untuk pengolahan tanah digunakan 200 mm yang lama pengolahan tanah antara 30 sampai 45 hari, khusus untuk penanaman padi sawah. Pengolahan tanah mencakup bajak pertama, penggaruan dan pelumpuran (leveling).

Dasar penggunaan 200 mm air adalah menurut kebiasaan yang diterapkan di Indonesia dan IRRI. Di Malaysia untuk mengolah tanah digunakan 200 mm tinggi air selama 45 hari kegiatan (Anonymous, 1967). Hasil penelitian Furba dan Bhuiyan (1983) jumlah air untuk pengolahan tanah pada mu-penghujan bervariasi dari 224 mm sampai 589 mm selama 7 sampai 10 minggu. Dengan dasar penelitian itu, maka pemakaian 200 mm untuk perencanaan ini, sebagai kebutuhan pengolahan tanah agar menghindari kelebihan air dan kekurangannya.

##### Keperluan air untuk evapotranspirasi

Evapotranspirasi oleh tanaman dihitung berdasarkan pada besarnya Evaporasi harian, dengan metoda Evaporasi panci klas A, dengan koefisien panci 0.85 yang diperoleh dari prediksi kelembaban udara ( $\% RH$ ) dan kecepatan angin daerah penelitian, masing-masing lebih besar dari

70 persen untuk RH dan lebih kecil 175 km/jam untuk kecepatan angin.

Nilai koefisien tanaman untuk setiap jenis tanaman dan tahap pertumbuhan digunakan data penelitian P2AT serta menurut Doorenbos (1979). Tahap pertumbuhan tanaman dibagi atas dasar umur tanaman perbulan (Tabel 3.), dengan demikian koefisien tanaman diperoleh seperti yang tertera dalam Tabel 4. Jumlah evapotranspirasi dengan kombinasi pola tanam setahun masing-masing tiga kali (Tabel 6.).

Tabel 3. Umur Tanaman (bulan) pada Setiap Tahap Pertumbuhan

Jenis Tanaman	Tahap Pertumbuhan				
	1	2	3	4	5
1. Padi IR 36	(0-2)	(2-3)	(3-4)		
2. Padi gogo	(0-2)	(2-4)	(4-5)		
3. Palawija(I)	(0-1)	(1-2)	(2-3)		
4. Palawija(II)	(0-1)	(1-2)	(2-3)	(3-4)	
5. Palawija(III)	(0-1)	(1-2)	(2-3)	(3-4)	

I) Jagung dan kedele, II) Kacang tanah, III) Tembakau

Nilai nol pada bulan tertentu menunjukan tidak ada kegiatan pertanian. Kombinasi dari bulan tanam yang berbeda-beda bertujuan untuk menghindari kebutuhan air maksimum pada pertumbuhan tanaman yang bersamaan, sehingga pemakaian air tanah yang terbatas lebih efisien dan merata. Begitu juga diharapkan dengan metoda ini tidak terjadi kelebihan dan kekurangan air pada bulan tertentu.

Tabel 4. Nilai Koefisien Tanaman untuk berbagai Tahap pertumbuhan

Jenis Tanaman	Tahap Pertumbuhan				
	1	2	3	4	5
1. Padi IR 36	1.04	1.3	0.91		
2. Padi gogo	0.57	1.2	0.75		
3. Palawija(I)	0.45	1.0	0.50		
4. Palawija(II)	0.45	0.75	1.03	0.65	
5. Palawija(III)	0.38	0.94	0.92	0.75	

Menurut Purba dan Bhuiyan (1983) keperluan air untuk evapotranspirasi rata-rata 5.2 mm/hari pada musim kering dan 4.1 mm/hari pada musim penghujan yang didasarkan pada tanaman padi sawah. Sedangkan dalam penelitian ini, besarnya evapotranspirasi tergantung jenis tanaman per musim, sehingga besarnya evapotranspirasi berbeda pada tingkat pertumbuhan tanaman.

#### 5. Curah hujan Efektif

Perhitungan curah hujan efektif di daerah penelitian menggunakan metoda Oldeman dan Syarifuddin yang berlaku untuk pulau Jawa dan Madura dengan peluang terlewati 75 persen.

Dengan peluang terlewati 75 persen dari curah hujan bulanan, maka curah hujan efektif untuk padi sawah dianggap efektif 100 persen, sedangkan palawija (non padi sawah)

Tabel 5. Kebutuhan air Tanaman (mm/bln) untuk setiap kombinasi Pola tanam (ETc)

				Bulan											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 <sub>U</sub>	12
ETc(mm/hari) metoda Panci Evaporasi,Koef panci 0.85				4.4	4.6	4.7	4.2	3.7	4.0	4.3	4.6	5.2	5.6	5.1	4.1
Pola Tanam			Bulan Tanam												
1.	Pi	Pi Pa <sub>1</sub>	Oktober	200	139	189	115	52	120	67	0	200	181	199	116
2.	Pi	Pii Pa <sub>1</sub>	Nopember	124	76	108	151	138	90	60	143	78	200	159	165
3.	Pi	Pii Pa <sub>1</sub>	Desember	177	121	83	93	138	144	100	64	156	87	200	132
4.	Pi	Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub>	Oktober	61	133	73	57	86	124	87	0	200	181	199	116
5.	Pi	Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub>	Nopember	124	60	146	63	52	90	137	93	0	200	159	165
6.	Pi	Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub>	Desember	177	121	66	126	57	54	100	147	101	0	200	132
7.	Fa <sub>1</sub>	Pa <sub>2</sub> Pa <sub>3</sub>	Oktober	61	100	150	82	44	113	123	107	0	78	153	64
8.	Pa <sub>1</sub>	Pa <sub>2</sub> Pa <sub>3</sub>	Nopember	140	87	66	126	57	46	125	131	117	0	69	95
9.	Pa <sub>1</sub>	Pa <sub>2</sub> Pa <sub>3</sub>	Desember	136	67	66	95	118	78	54	134	144	130	0	57
10.	Pa <sub>1</sub>	Pa <sub>2</sub> Pa <sub>3</sub>	Januari	61	125	73	57	86	124	87	54	147	160	115	0

Keterangan: Pi=padi sawah, Pii=Padi Gogo, Pa<sub>1</sub>=Palawija I, Pa<sub>2</sub>=Palwija II, Pa<sub>3</sub>=Palawija III



efektifnya 75 persen. Bila curah hujan bulanan kurang 36 mm/bulan (Lampiran 1), maka efektifnya dianggap nol.

Dalam hal ini tidak ada nilai efektif negatif. Dengan kata lain curah hujan tersebut tidak bisa dimanfaatkan oleh tanaman.

Perbedaan efektifitas padi sawah dengan palawija karena padi sawah memerlukan penggenangan (jenuh) untuk ketersediaan air bagi pertumbuhan padi. Palawija kurang dapat beradaptasi bila tanahnya tergenang atau jenuh dengan air. Oleh karena itu curah hujan efektif berbeda untuk padi sawah dengan non padi sawah, (Tabel 6).

Tabel 6. Hujan Efektif bulanan (mm) di Daerah Penelitian

	Bulan											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Padi sawah	279	214	277	126	102	22	0	0	0	45	118	202
Palawija (non padi sawah)	209	160	208	94	77	16	0	0	0	33	88	152

Sumber: Berdasarkan data curah hujan rata-rata bulanan dari Tahun 1970-1982 dari station klimatologi Daerah Playen (Gunung Kidul).

#### 6. Keperluan Air bagi Setiap Kombinasi Pola Tanam dan Debit Air yang Tersedia dari Pompa

Keseimbangan air di petak sawah adalah jumlah air irigasi yang harus diberikan ke petak sawah untuk keperluan pertumbuhan tanaman, mengganti yang hilang karena per-

kolasi dan rembesan, limpasan dan faktor curah hujan efektif.

Pada Tabel 7 terlihat bahwa setiap kombinasi pola tanam (i) per tahun, kebutuhan air perbulan setiap pola tanam merupakan keseimbangan air di petak sawah. Bervariasi setiap nilai disebabkan oleh berbedanya tahap pertumbuhan evaporasi perbulan, curah hujan efektif dan perkolasi dan rembesan, serta jumlah air untuk pengolahan tanah.

Debit air yang tersedia bagi keperluan air setiap kombinasi pola tanam dipengaruhi oleh efisiensi irigasi yang berbeda untuk padi sawah dan palawija, masing-masing 77 dan 73 persen (hasil penelitian P2AT). Untuk perencanaan ini nilai efisiensi digunakan hasil penelitian tersebut, sehingga besarnya masing-masing nilai keperluan air dapat dilihat di Tabel 7 untuk setiap pola tanam.

Dari Tabel 7 terlihat debit air yang tersedia di sumber selalu sama setiap bulan. Hal ini disebabkan kapasitas pompa yang beroperasi 18 jam per hari dan ketersediaan air di akuifer tidak dipengaruhi oleh musim hujan dan musim kemarau dalam penelitian ini.

Penetapan debit pompa 19 lt/dt dan 28 lt/dt berdasarkan hasil uji akuifer (pumping test) dengan tingkat penurunan air dalam sumur (drawdown) yang mendekati konstan. Bila dalam pengujian diperoleh penurunan muka air dalam sumur konstan, sedang debit yang dihasilkan tetap dalam jangka waktu tertentu, maka debit pompa pada saat operasi

Tabel 7. Keperluan Air Bagi Setiap Kombinasi Pola Tanam atau matrik  $q_{ijt}$  (lt/dt/Ha) dan Debit yang Tersedia dari Operasi pompa (Q)

Bulan Kegiatan	i(Pola Tanam)										Q(lt/dt)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	I <sup>19)</sup>	II <sup>28)</sup>
1. Oktober	1.40	2.34	1.04	1.40	2.34	0	1.03	0	1.29	1.41	14.25	21.00
2. Nopember	1.16	0.96	1.92	1.16	0.96	1.92	1.14	0.50	0	0.93	14.25	21.00
3. Desember	0.34	0.57	0.42	0.34	0.57	0.42	0.34	0.44	0.30	0	14.25	21.00
4. Januari	1.03	0	0.56	0	0	0.56	0.04	0.40	0.42	0.04	14.25	21.00
5. Februari	0.36	0.33	0.27	0.25	0.25	0.27	0.46	0.39	0.42	0.64	14.25	21.00
6. Maret	0.32	0.29	0.15	0.10	0.48	0.07	0.49	0.07	0.07	0.10	14.25	21.00
7. April	0.69	1.09	0.78	0.60	0.63	0.96	0.73	0.68	0.79	0.60	14.25	21.00
8. Mei	0.95	0.91	1.11	0.83	0.67	0.68	0.63	0.94	1.00	0.83	14.25	21.00
9. Juni	1.37	1.18	1.55	1.36	1.18	1.00	1.30	1.06	1.12	1.36	14.25	21.00
10. Juli	1.08	1.10	1.30	1.12	1.49	1.30	1.42	1.44	1.07	1.23	14.25	21.00
11. Agustus	0	1.48	1.12	0	1.27	1.55	1.34	1.46	1.48	1.07	14.25	21.00
12. September	2.53	1.20	1.62	2.53	0	1.33	0	1.41	1.55	1.57	14.25	21.00

- \*) Keperluan air untuk pengolahan tanah 200 mm  
Efisiensi irigasi 77 % untuk padi sawah dan 73 % untuk palawija  
Operasi Pompa 18 jam sehari  
19) dan 28) adalah debit pompa hasil "pumping test" (lt/dt)

tersebut ditetapkan sebagai debit pompa dalam perencanaan eksploitasi selanjutnya.

Debit air dari pompa 19 lt/dt menunjukkan laju penurunan muka air konstan atau "constant rate test" (Lampiran 9) merupakan debit yang lebih terjamin dalam perencanaan pengembangan selanjutnya. Untuk debit 28 lt/dt dalam perencanaan ini sebagai pembanding dan merupakan rancangan (design) kemampuan pompa yang optimal dapat dioptimalkan. (Lampiran 9).

## 7. Luasan Lahan Optimal yang dapat Terairi dengan Operasi Pompa.

Hasil uji akuifer (pumping test) menunjukkan debit pompa 19 lt/dt merupakan debit yang dapat menjamin ketersediaan air dalam perencanaan pengembangan air tanah di Gunung Kidul (sumur Jatisari).

Hasil perhitungan komputer menunjukkan luas areal yang dapat dialirkan dengan debit pompa 19 lt/dt adalah 11.86 ha, untuk pola tanam 3 kali setahun (Tabel 8). Luasan yang dapat dicapai untuk penanaman tiga kali setahun, hanya 28 persen dari luas maksimum 42.2 ha yang sebenarnya. Rendahnya persentase yang dicapai disebabkan penggunaan air pada musim hujan telah dicukupi oleh curah hujan di daerah penelitian, sehingga kelebihan debit terlalu besar. Jadi pemakaian air dari pompa pertahun tidak maksimum, seperti kemampuan pompa yang telah ditetapkan dengan debit

19 lt/dt serta kemampuan pompa beroperasi 18 jam sehari, kontinu selama umur pompa. Kelebihan air terjadi mulai bulan Nopember sampai bulan Mei, pemakaian maksimum terjadi hanya bulan Juni sampai Oktober atau musim kemarau.

Mengingat banyaknya kelebihan air, maka dicoba alternatif lain yaitu dengan memaksimumkan pemakaian pada areal yang belum terairi seluas 30.34 hektar. Untuk mengatasi hal itu dibuat suatu model perencanaan linear yang terbatas pada kombinasi pola tanam satu dan dua kali dalam jangka waktu kelebihan air dari bulan Nopember sampai Mei atau jangka waktu tujuh bulan.

Hasil perhitungan menunjukkan tanaman padi sawah lebih luas areal yang dapat terairi, dibandingkan dengan padi gogo dan palawija, masing-masing 14.23 Ha, 1.97 Ha dan 3.29 Ha, Tabel 9.

Tabel 8. Pola Tanam dan Luas areal dengan Debit Pompa 19 lt/dt musim hujan dan Kemarau<sup>1)</sup>

Pola Tanam	Bulan Tanam									Luas (Ha)
	Pi	Pi	Pii	Pa <sub>1</sub>	Pa <sub>2</sub>	Pa <sub>3</sub>				
(1) Pi Pi Pa <sub>1</sub>	Okt	Feb	-	Mei	-	-				1.89
(5) Pi Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub>	Nop	-	-	Feb	Mei	-				0.61
(6) Pi Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub>	Des	-	-	Mar	Jun	-				0.84
(7) Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub> Pa <sub>3</sub>	-	-	-	Okt	Des	Mei				3.12
(9) Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub> Pa <sub>3</sub>	-	-	-	Des	Mar	Jul				5.39
Jumlah Areal yang terairi										11.86

<sup>1)</sup> Hasil lengkap lihat Lampiran 6



Luas untuk palawija 1.75 Ha merupakan tambahan dari kelebihan air pada bulan Januari, Februari dan Maret, dengan bulan tanamnya Januari. Total keseluruhan areal yang dapat diairi dari debit 19 lt/dt adalah 29.81 Ha, dengan perencian 11.86 Ha dari perhitungan musim penghujan dan musim kemarau, 16.20 Ha hasil perhitungan kelebihan air pada musim hujan dan 1.75 Ha hasil perhitungan kelebihan air bulan Januari, Februari dan Maret. Berarti hanya 70.64 persen yang dapat terairi dari luas lahan maksimum 42.2 Ha.

Tabel 9. Pola Tanam dan Luas Areal yang dapat diari dari sisa kelebihan Air pada Musim Penghujan (Nop-Mei)

Pola Tanam	Bulan Tanam						Luas (Ha)
	Pi	Pi	Pii	Pa <sub>1</sub>	Pa <sub>2</sub>	Pa <sub>3</sub>	
Pi	Des	-	-	-	-	-	10.94
Pii	-	-	Des	-	-	-	1.97
Pi Pa <sub>1</sub>	Des	-	-	Mar	-	-	3.29
Jumlah areal yang terairi							16.20
Tambahan Pa <sub>1</sub> , bulan tanam Januari							1.75
Jumlah keseluruhan							17.95

Walaupun telah dimaksimumkan pemakaian, namun kelebihan debit air dari operasi pompa 19 lt/dt tidak dapat dihindarkan menurut sistim perencanaan ini. Kelebihan terjadi pada bulan Januari, Maret dan Mei, masing-masing



7.05 lt/dt, 9.11 lt/dt dan 1.89 lt/dt. Kelebihan debit air ini kemungkinan karena curah hujan tinggi dan kebutuhan air maksimum pada pertumbuhan tanaman dalam perencanaan ini terjadi bukan pada bulan tersebut.

Apabila dalam uji akuifer yang terpakai debit yang berpotensi dikembangkan untuk padi sawah yaitu 19 lt/dt, maka luas lahan yang terairi hanya 19.54 Ha dari 29.81 Ha luas maksimum, atau hanya 46.30 persen dari luas 42.2 Ha. Dengan demikian kesimpulan yang dapat diambil adalah kombinasi pola tanam padi, palawija, palawija lebih berpotensi, dikarenakan kebutuhan air pada padi sawah lebih besar sehingga palawija lebih cocok pada musim kemarau.

Penggunaan hasil "pumping test" dengan debit pompa 28 lt/dt sebagai patokan dalam perencanaan alokasi air tanah di areal persawahan, kemungkinan resiko kegagalan lebih besar dihadapi dibandingkan dengan debit 18 lt/dt. Masalah yang dihadapi diantaranya tingkat penurunan muka air dalam sumur tidak stabil, ketahanan pompa dan jaminan kemampuan operasi sepanjang tahun dengan 18 jam operasi per hari lebih kecil. Kemungkinan lain keseimbangan "geohydrology" (water balance) kurang dapat dipertahankan. Hal ini jelas terlihat dari "drawdown" dalam sumur, semakin lama pemompaan semakin besar perbedaan tingkat penurunannya (Lampiran 9).

Hasil analisa komputer pada debit pompa 28 lt/dt, menunjukkan luas areal maksimum yang terairi hanya 17.47 Ha

untuk pola tanam tiga kali setahun (musim hujan dan musim kemarau) lihat Tabel 10.

Seperti halnya pada debit 19 lt/dt terjadi kelebihan air pada musim hujan dari bulan Nopember sampai Mei. Kelebihan ini dialokasikan lagi dengan pola tanam satu dan dua kali dalam waktu tujuh bulan. Kelebihan debit air pada bulan tersebut kemungkinan karena kebutuhan air bagi tanaman sudah dicukupi oleh curah hujan yang ada di daerah penelitian. Dari hasil alokasi debit sisa selama tu-

Tabel 10. Pola Tanam dan Luas Areal dengan Debit Pompa 28 lt/dt Musim Hujan dan Kemarau<sup>1)</sup>

Pola Tanam	Bulan Tanam						Luas (Ha)
	Pi	Pi	Pii	Pa <sub>1</sub>	Pa <sub>2</sub>	Pa <sub>3</sub>	
(1) Pi Pi Pa <sub>1</sub>	Okt	Feb	-	Mei	-	-	2.78
(5) Pi Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub>	Nop	-	-	Feb	Mei	-	0.90
(6) Pi Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub>	Des	-	-	Mar	Jun	-	1.24
(7) Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub> Pa <sub>3</sub>	-	-	-	Okt	Des	Mei	4.61
(9) Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub> Pa <sub>3</sub>	-	-	-	Des	Mar	Jul	7.95
Jumlah areal yang terairi							17.47

1) Hasil lengkap lihat Lampiran 7

juh bulan, luas lahan yang dapat terairi 23.94 Ha dari sisa areal 24.73 Ha dengan pola tanam pada Tabel 11.

Kelebihan debit selanjutnya hanya dapat mencukupi 2.13 Ha untuk palawija dengan bulan tanam Januari. Berarti luas maksimum yang dapat dialirkan, bila debit pompa

28 lt/dt melebihi luas lahan yang tersedia yaitu 42.2 Ha, seluas 43.54 Ha atau dengan kata lain sisa debit yang dapat diairi 2.13 Ha melebihi luas areal yang telah ditetapkan. Disamping itu kelebihan debit yang tidak dapat dihindarkan dalam perencanaan ini adalah terjadi pada bulan, Januari, Maret dan Mei, masing-masing 10.87, 12.88 dan 3.29 lt/dt. Kelebihan debit kemungkinan disebabkan oleh curah hujan yang tinggi pada bulan tersebut sehingga dapat mencukupi kebutuhan air bagi tanaman dan kemungkinan lain karena kebutuhan maksimum air bagi tanaman bukan terjadi pada bulan Januari, Maret dan Mei bila menggunakan metoda perencanaan ini.

Tabel 11. Pola Tanam dan Luas areal yang dapat diairi dari sisa kelebihan Air pada Musim Penghujan dengan Debit Pompa 28 lt/dt

Pola Tanam	Bulan Tanam						Luas (Ha)
	Pi	Pi	Pii	Pa <sub>1</sub>	Pa <sub>2</sub>	Pa <sub>3</sub>	
Pi	Jan	-	-	-	-	-	15.26
Pii	-	-	Des	-	-	-	3.84
Pi Pa <sub>1</sub>	Nop	-	-	Mar	-	-	4.84
Jumlah areal yang terairi							23.94
Tambahan Pa <sub>1</sub> , bulan tanam Januari							2.13
Jumlah keseluruhan							26.07

Walaupun debit pompa berbeda namun pola tanam yang dihasilkan hampir sama, dengan kata lain pola tanam yang

dihasilkan tidak dipengaruhi oleh debit pompa. Yang berpengaruh adalah luas areal yang dihasilkan.

Tidak ada perubahan pola tanam yang dihasilkan dari alternatif 10 macam pola tanam yang diajukan, menunjukkan bahwa penggunaan pompa dalam alokasi air lebih mudah mengatur sistim golongan atau interval pemberian air tanah untuk pertanian. Hal ini disebabkan perbandingan parameter pembatas yaitu debit air dari pompa sama setiap bulan. Berbeda dengan irigasi sumber permukaan atau sungai pendugaan debit didasarkan pada rata-rata debit sebelumnya dan curah hujan daerah setempat.

Dari hasil analisa metoda Perencanaan Linear (Linear Programming) untuk alokasi air tanah pada debit yang berbeda, maka hasilnya menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata pada pola tanam yang telah dikembangkan, yaitu padi, padi, palawija dan padi, palawija, palawija serta palawija, palawija, palawija selama setahun.



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada hasil pengamatan, pengukuran dan data sekunder, maka perhitungan dengan metoda Perencanaan Linear dalam usaha mengevaluasikan suatu sistim alokasi air tanah dengan operasi pompa ke petak sawah dapat disimpulkan bahwa:

1. Luas maksimum yang dapat dicapai dari debit pompa 19 dan 28 lt/dt, masing-masing 29.81 Ha dan 43.54 Ha. Pola tanam yang dihasilkan relatif sama (Tabel 8, 9, 10 dan 11), hal ini disebabkan debit yang tersedia selalu konstan untuk masing-masing kriteria pola tanam.
2. Pengujian dengan metoda Perencanaan Linear, optimal pemakaian air dari pompa hanya pada musim kemarau, masing-masing 11.86 Ha untuk debit pompa 19 lt/dt dan 17.47 Ha untuk debit pompa 28 lt/dt. Dengan demikian curah hujan efektif sangat berpengaruh terhadap kelebihan air pada musim penghujan.
3. Daerah Gunung Kidul sumber airnya agak terbatas, terutama pada musim kemarau, sehingga diperlukan penggunaan yang efisien dan efektif bagi kebutuhan tanaman. Maka pola tanam yang dianjurkan adalah padi-padi-palawija, padi-palawija-palawija dan palawija-palawija-palawija.
4. Metoda Perencanaan Linear yang diterapkan ini hanya berlaku untuk memaksimumkan luas lahan dengan debit

air yang terbatas. Dan tidak dapat menjamin keuntungan segi ekonomis, hal ini disebabkan karena pembatas yang digunakan hanya terbatas pada faktor teknis (air, tanah, kemampuan pompa dan lain-lain), tidak dimasukkan faktor ekonomis (biaya produksi, tenaga yang tersedia, pupuk dan lain-lain).

Saran-saran yang dapat menunjang bila metoda ini diterapkan adalah:

1. Penetapan lama operasi pompa 18 jam per hari untuk setiap golongan, hanya menguntungkan bagi lokasi yang berdekatan dengan sumber air, karena kehilangan disalurkan lebih kecil, dibandingkan dengan lokasi yang jauh. Oleh sebab itu diperlukan evaluasi jam operasi pompa, dimana lokasi yang dekat dikurangi jumlah jam operasi dan lokasi yang jauh ditambah, tetapi jumlah jam perminggu tetap 126 jam.
2. Bila sistim giliran dipertahankan seminggu sekali, seperti yang telah ada maka perlu perubahan luas areal menjadi sub-sub bagian atau masing-masing blok yang telah ditetapkan sebelumnya yaitu 7 blok (Lampiran 17).
3. Mematuhi jadwal tanam, pengaturan yang tepat seperti yang telah ditentukan.







## DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 1967. Rice Production Manual. Compiled by Rice, University of The Philippines College of Agriculture. In Cooperation With The IRRI.
- \_\_\_\_\_. 1970. Manual on Irrigation Water Management NIA-ABD. Water Management Project Philippines.
- \_\_\_\_\_. 1973. Regional Workshop on Irrigation Water Management. ADB.
- \_\_\_\_\_. 1982. Laporan Uji Coba Sistem Pengelolaan dan Efisiensi Irigasi di Daerah Pengairan Sampean Lama. Saluran Induk Situbondo. Fateta-IPB dan Dept. PU. Direktorat Jenderal Pengairan Proyek Irigasi I.D.A.
- Arsjad, S. 1980. Pengawetan Tanah dan Air. Departemen Ilmu-ilmu Tanah. Faperta-IPB.
- Bahri, R. 1982. Penelitian Kebutuhan Air Irigasi dan Maksimisasi Areal Padi Sawah Dengan Sistem Pemberian Air Terus-menerus Pada Musim Hujan di Kejuron Olean Daerah Pengairan Sampean Lama Situbondo Jawa Timur. Thesis Sarjana. Fateta-IPB.
- Bhuiyan, S.I. 1982. Irrigation System Management Research and Selected Methodological Issues. IRRI Research Paper Series. No.81. Oktober 1982.
- Darjadi, N. 1975. Mempelajari Pengaruh Cara Pengolahan Tanah Sawah Secara Tradisionil dan Jumlah Pemberian Air Terhadap Sifat-sifat Pelumpuran di Desa Pemaron Daerah Irigasi Pemali Comal. Thesis Sarjana. Fateta-IPB.
- Dastane, N.G. 1974. Effective Rainfall in Irrigated Agriculture. Irrigation and Drainage Paper. FAO. Rome 1974.
- Dhalhar, M.A. 1980. Use of The Buffered and Covered Plots Method for Evaluating Water Requirement of Rice Paddy. PhD Thesis. University of Minnesota.
- Doorenbos, J and A.H. Kassam. 1979. Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper. FAO.No. 33 Rome 1979.
- Fukuda, H and H. Tsuitsui. 1973. Rice Irrigation in Japan OTCA.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Di larang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Di larang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- Gandakoesoemah, R. 1981. Irigasi. Penerbit Sumur Bandung
- Harjadi, S.S. 1979. Pengantar Agronomi. Penerbit PT Gramedia Jakarta.
- Hiller, I.E. 1978. Operation Research.. Holden-Day Inc. San Francisco.
- Houk, I.E. 1960. Irrigation Engineering. Agricultural and Hydrological Phase. John Wiley and Son. Inc. New York. Vol I.
- Israelsen, O.W and V.E. Hansen. 1962. Irrigation Principles and Practices. John Wiley and Son. Inc.
- Kotter, E. 1968. Determining of Water Requirement of Rice in Laos. IRC Newsletters.
- Kurnia, U. 1973. Pemakaian Konsumtif dan Kebutuhan Beberapa Padi Sawah Pada Tanah Grumusol Rentang. Thesis Sarjana. Faperta-IPB.
- Linsley, R.K and J.B. Franzini. 1979. Water Resources Engineering. McGraw-Hill Book Company.
- MacDonald, M. 1979a. Gunung Kidul Ground Water Project Final Report. Geohydrology. Vol 3B.
- \_\_\_\_\_. 1979b. Gunung Kidul Ground Water Project Final Report. Tube Well Hand Books. Vol 10.
- \_\_\_\_\_. 1979c. Laporan Akhir Proyek Air Tanah di Gunung Kidul. Buku Pegangan Pertanian. Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen PU. Vol 8.
- Olivier, H. 1972. Irrigation and Water Resources Engineering. Edward Arnold London. Crane Russak New York.
- Oldeman, L.R and S. Sjarifuddin. 1977. An Agroclimatic Map of Sulawesi. Contr. Central Rec Inst Agri-Bogor. No. 33.
- Partowijoto, A. 1980. Kapita Selekta Teknik Tanah dan Air. Departemen Mekanisasi Pertanian. Fatemeta-IPB
- Purba, W.F. and S.I. Bhuiyan. 1983. Evaluating Irrigation Infra Structure Improvement at The Tertary Level an Indonesian Case. Majalah Insinyur Indonesia No. 3/XXXI, Juni 1983.



- Purwanto, R. 1975. Mempelajari Sifat Pelumpuran dan Pengaruh Cara Pengolahan Tanah Sawah Pada Beberapa Tingkat Kelembaban Terhadap Jumlah Air Yang Digunakan. Thesis Sarjana. Fatemeta-IPB.
- Rismunandar. 1978a. Bertanam Kacang Tanah. Penerbit Terate Bandung.
- \_\_\_\_\_. 1978b. Bertanam Kedelei. Penerbit Terate Bandung.
- Roe, H.B. 1950. Moisture Requirement in Agriculture McGraw-Hill Book Company.
- Schwab, G.O, R.K. Frevert, T.W. Edminster and K.K. Barnes. 1981. Soil and Water Conservation Engineering. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- Simarmata, D. A. 1983. Operation Research. Sebuah Pengantar. Teknik-teknik Optimasi Kuantitatif Dari Sistem-sistem Operasional. Penerbit PT Gramedia Jakarta.
- Somaatmadja, S. 1974. Penelitian Efisiensi Pemakaian Air Pertanaman Padi Sawah di Tanah Grumusol Perjan Tani Makmur Cihba Jawa Barat. Thesis Sarjana. Fatemeta-IPB.
- Sosrodarsono, S dan K. Takeda. 1978. Hidrologi Untuk Pengairan. PT Pradnya Paramida Jakarta.
- Suprodjo dan T. Purwadi. 1982. Analisa Pengambilan Keputusan Mekanisasi Pertanian. Penerbit Agritech Yogyakarta.
- Widodo, S, Sutrilah, Mursantoro dan Suprojo. 1977. Laporan Suvey Evaluasi Sumur Pompa Proyek Pengembangan Air Tanah Sub Proyek Gunung Kidul. Dept Ekenomi Pertanian. Faperta-UGM. Yogyakarta.



@Hak cipta milik IPB University

## LAMPIRAN

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 1. Data Curah Hujan Bulanan di Daerah Playen Gunung Kidul (mm)

Bln Thn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1970	372	401	291	173	285	44	0	0	40	192	372	563
1971	439	249	725	73	215	13	0	0	0	22	268	127
1972	365	351	300	139	191	0	0	0	0	0	142	380
1973	411	532	471	250	283	181	54	27	190	114	266	354
1974	351	349	325	326	108	0	24	101	105	136	0	321
1975	286	369	483	222	126	0	0	0	0	248	166	-
1976	294	97	388	71	0	0	0	0	20	147	163	56
1977	485	307	355	104	17	69	0	0	0	2	251	256
1978	354	172	346	169	347	317	197	56	61	137	160	346
1979	528	252	445	251	359	105	2	4	18	21	87	333
1980	492	239	164	208	15	26	7	17	3	42	250	-
1981	363	241	372	261	146	-	110	36	57	125	-	292
1982	162	-	194	224	0	0	0	-	0	0	32	390
Rata Rata <sub>I</sub>	377	297	374	190	161	63	30	20	38	91	180	283



Lampiran 2. Data Evaporasi Rata-rata Harian(mm)  
dari Panci Klas A di Daerah Playen  
Gunung Kidul

Bln Thn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1976	-	-	-	-	-	5.1	5.9	5.5	5.7	5.9	5.9	-
1977	5.2	4.8	4.8	5.3	-	4.6	5.4	5.7	6.4	7.4	6.5	5.2
1978	4.7	5.7	4.7	4.9	4.3	4.7	4.9	5.1	5.5	6.0	4.8	4.9
1979	5.4	5.5	5.7	4.5	3.9	4.2	4.7	5.9	6.0	6.0	5.5	4.0
1980	3.6	5.3	5.9	4.3	4.9	4.8	5.2	5.4	6.0	6.3	6.4	-
1981	6.4	6.0	6.7	5.1	4.1	-	4.2	5.2	6.0	6.1	-	4.8
1982	5.5	-	5.2	5.3	4.6	5.1	4.7	-	7.1	7.5	7.4	5.0
Rata-rata	5.1	5.4	5.5	4.9	4.4	4.7	5.0	5.5	6.1	6.6	6.0	4.8

Sumber: Dari P2AT Gunung Kidul

Lampiran 3. Data Kelembaban Udara (% RH) Bulanan  
di Daerah Playen Gunung Kidul

Bln Thn	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1976	-	-	-	-	-	74	74	75	71	79	81	-
1977	88	86	89	89	-	89	85	80	79	69	73	82
1978	83	75	85	81	85	89	86	81	80	89	91	95
1979	90	85	88	88	89	82	78	68	78	74	78	86
1980	88	90	86	90	82	79	78	78	75	84	92	-
1981	94	97	95	94	84	-	88	87	88	83	-	79
1982	88	-	90	89	86	82	86	-	75	82	88	86
Rata-rata	88	87	89	88	85	83	82	78	78	80	84	86

Sumber: Dari P2AT Gunung Kidul



Lampiran 4. Nilai Koefisien Tanaman Daerah  
Gunung Kidul

Tingkat pertum- buhan (minggu)	Padi sawah	Padi gogo	Jagung	Kedelai	Kacang tanah	Tembakau
1.	0.92	0.34	0.42	0.28	0.28	0.25
2.	0.95	0.38	0.46	0.34	0.34	0.30
3.	0.98	0.42	0.52	0.41	0.41	0.36
4.	1.03	0.47	0.58	0.48	0.47	0.42
5.	1.12	0.56	0.69	0.62	0.60	0.55
6.	1.21	0.67	0.82	0.76	0.72	0.69
7.	1.28	0.79	0.92	0.89	0.84	0.83
8.	1.33	0.93	0.99	0.98	0.93	0.97
9.	1.34	1.07	1.02	1.01	0.97	1.07
10.	1.31	1.19	1.00	0.97	0.97	1.12
11.	1.24	1.27	0.95	0.87	0.92	1.12
12.	1.12	1.31	0.86	0.72	0.81	1.06
13.	0.86	1.31	0.74	0.54	0.67	0.95
14.	0.75	1.25	0.67	0.46	0.51	0.81
15.	0.59	1.16	0.59	0.36	0.42	0.65
16.		1.02	0.50	0.25	0.32	0.49
17.		0.83			0.25	0.34
18.		0.63				0.26
19.		0.52				0.20
20.		0.40				0.16
21.		0.30				

Sumber: P2AT Sub Proyek Gunung Kidul

Lampiran 5

DATA PENETAPAN BULK DENSITY, POROSITAS,  $p$  DAN PERMEABILITAS

Asal Contoh :  
Pengirim Contoh:

No.	Lokasi	Kedalaman	Bulk Density (g/cc)	Porositas (%)	Kadar air (% volume) pada pF				Pori Drainase (%)	
					1.0	2.0	2.54	4.2	Cepat	Lambat
I	0-20	1.13	57.36	50.07	39.54	39.37	27.03			
		20-40	1.02	61.50	52.24	39.98	40.59	28.88		
II	0-20	0.99	62.64	47.08	39.20	42.62	29.84			
		20-40	1.07	59.62	51.58	41.80	40.49	28.99		
III	0-20	1.03	61.13	-	40.49	40.14	28.65			
		20-40	1.09	58.86	-	42.79	40.07	33.16		
IV	0-20	1.16	56.23	48.96	38.94	36.51	25.28			
		20-40	1.10	58.49	51.61	41.81	40.61	30.57		
V	0-20	1.12	57.73	49.15	35.33	35.13	26.99			
		20-40	1.03	61.13	47.12	32.12	32.09	27.24		
VI	0-20	1.16	56.23	50.00	37.95	36.94	27.53			
		20-40	1.16	56.23	47.39	41.12	40.73	32.07		
Rata <sup>2</sup>		1.09	58,93	49.52	39.25	38.79	28.85			

## Lampiran 6. Hasil Komputasi dengan Debit 19 lt/dt

\*\*\* OPTIMAL SOLUTION FOUND \*\*\*  
 \*\*\* AFTER 8 ITERATION \*\*\*

DECISION VARIABLE VALUE

X( 7 ) =	3.12489
X( 12 ) =	6.29964
X( 13 ) =	10.2264
X( 14 ) =	9.4464
X( 15 ) =	9.48818
X( 16 ) =	11.3851
X( 17 ) =	5.21407
X( 18 ) =	4.11406
X( 6 ) =	.839869
X( 5 ) =	.61205
X( 9 ) =	5.39429
X( 1 ) =	1.8861
X( 23 ) =	30.3428

NOTE:

ALL VARIABLES NOT SHOWN  
 IN THIS TABLE HAVE VALUES OF ZERO.

MAX. Z= 11.8572

# Lampiran 7. Hasil Komputasi dengan Debit 28 lt/dt

\*\*\* OPTIMAL SOLUTION FOUND \*\*\*  
 \*\*\* AFTER 8 ITERATION \*\*\*

DECISION VARIABLE VALUE

X( 7 ) =	4.6051
X( 12 ) =	9.28368
X( 13 ) =	15.0704
X( 14 ) =	13.921
X( 15 ) =	13.9826
X( 16 ) =	16.778
X( 17 ) =	7.68389
X( 18 ) =	6.06282
X( 6 ) =	1.2377
X( 5 ) =	.901968
X( 9 ) =	7.94948
X( 1 ) =	2.77951
X( 23 ) =	24.7262

NOTE:

ALL VARIABLES NOT SHOWN  
 IN THIS TABLE HAVE VALUES OF ZERO.

MAX. Z= 17.4738

Lampiran 8. Hasil Uji Akuifer (Pumping Test) di Sumur Jatisari (W.21) P2AT Sub Proyek Gunung Gunung Kidul

(1) Step test

Date : 15 Juli 1978

S.W.L = 10.90 m

	<u>Step I</u> Q=12.1 lt/s	<u>Step II</u> Q=19.1 lt/s	<u>Step III</u> Q=28.1 lt/s	<u>Step IV</u> Q=35.3 lt/s
<u>Time</u> (mi)	<u>Drawdown</u> (m)	<u>Drawdown</u> (m)	<u>Drawdown</u> (m)	<u>Drawdown</u> (m)
0	0	0.65	1.61	3.48
10	0.45	1.17	2.67	5.11
20	0.49	1.38	2.93	5.56
40	0.56	1.49	3.22	5.90
60	0.61	1.56	3.28	6.14
80	0.63	1.59	3.47	6.29
100	0.65	1.61	3.48	6.36

(2) Constant rate test

Date : 16 July 1978

Discharge: 19.1lt/s S.W.L=10.92 m

<u>Time</u> (min)	<u>Drawdown</u> (m)	<u>Time</u> (min)	<u>Drawdown</u> (m)
0	0	0	2.54
10	0.95	10	1.53
100	1.68	100	0.30
480	1.90	240	0.14
1080	2.41	360	0.10
1440	2.48		
2400	2.49		
2880	2.54		

$$Sc = \frac{Q}{S} = 7.5 \text{ lt/s/m}$$

## Lampiran 8. Sambungan.....

(3) Commissioning test

Date : 19 July 1979 Discharge: 32 lt/s, S.W.L=8.87 m

Engine speed : 1800 rpm.

Observation point	Distance from pumped well (m)	Pumping time (min)	Drawdown (m)	Recovery time (min)	Residual drawdown (m)
W21	-	1440	1.92	180	0.22
OW1	60	1440	0.59	-	-
OW2	55	1440	0.41	-	-
OW3	75	1440	0.30	-	-

Sumber: Gunung Kidul Ground Water Project Final Report,  
Volume 3 B, Geohydrology



Lampiran 9. Jumlah Kelebihan Debit Air dengan Pola Tanam yang terpilih, untuk Debit Pompa 19 lt/dt

Bulan Kegiatan	$Q_{\text{terpakai}}$ (lt/dt)	$Q_{\text{tersedia}}$ (lt/dt)	$Q_{\text{kelebihan}}$ (lt/dt)
Oktober	14.25	14.25	0
November	7.94	14.25	1.31
Desember	4.02	14.25	10.23
Januari	4.80	14.25	9.45
Februari	4.75	14.25	9.50
Maret	2.86	14.25	11.39
April	9.53	14.25	4.72
Mei	10.12	14.25	4.13
Juni	14.25	14.25	0
Juli	14.25	14.25	0
Agustus	14.25	14.25	0
September	14.25	14.25	0

Lampiran 10. Kebutuhan Air Tanaman (mm/bln) untuk Setiap Kombinasi Pola Tanam

Pola Tanam	Bln Tanam	Bulan Kegiatan						
		N	D	J	F	M	A	M
P <sub>1</sub>	Desember	200	132	177	121	0	0	0
P <sub>1</sub>	Januari	0	200	142	167	133	0	0
P <sub>11</sub>	Desember	0	72	101	155	175	95	0
P <sub>1</sub> Pa <sub>1</sub>	Desember	200	132	177	121	66	126	57
Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub>	Nopember	69	127	68	58	109	130	75
Pa <sub>1</sub> Pa <sub>3</sub>	Nopember	69	127	68	49	137	116	86

Lampiran 11. Keperluan Air bagi Setiap Kombinasi Pola Tanam atau  $q_{ij}$  (lt/dt/Ha) dan Debit yang tersedia, sisa dari debit 19 lt/dt

Bulan Kegiatan	Pola Tanam						Q (lt/dt)
	1	2	3	4	5	6	
Nopember	1.92	0	0	1.92	0.70	0.70	6.31
Desember	0.42	0.74	0.38	0.42	0.67	0.67	10.23
Januari	0.26	0.09	0.25	0.26	0.07	0.07	9.45
Februari	0.31	0.53	0.79	0.31	0.25	0.19	9.50
Maret	0	0.05	0.68	0.07	0.29	0.42	11.39
April	0	0	0.79	0.96	0.99	0.90	4.72
Mei	0	0	0	0.68	0.78	0.84	4.13

Lampiran 12. Tabel Simplex Untuk Sisa Debit Air dari Debit Pompa 19 lt/dt

Basic Var	Eq No	Z	Coefficient of														Right Side
			$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	
Z	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$a_7$	1	0	1.92	0	0	1.92	0.70	0.70	1	0	0	0	0	0	0	0	6.31
$a_8$	2	0	0.42	0.74	0.38	0.42	0.67	0.67	0	1	0	0	0	0	0	0	10.23
$a_9$	3	0	0.26	0.09	0.25	0.26	0.07	0.07	0	0	1	0	0	0	0	0	9.45
$a_{10}$	4	0	0.31	0.53	0.79	0.31	0.25	0.19	0	0	0	1	0	0	0	0	9.50
$a_{11}$	5	0	0	0.05	0.68	0.07	0.29	0.42	0	0	0	0	1	0	0	0	11.39
$a_{12}$	6	0	0	0	0.79	0.96	0.99	0.90	0	0	0	0	0	1	0	0	4.72
$a_{13}$	7	0	0	0	0	0.68	0.78	0.84	0	0	0	0	0	0	1	0	4.13
$a_{14}$	8	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	30.34

Lampiran 13. Jumlah Kelebihan Debit Air dengan Pola Tanam yang Terpilih untuk Debit Pompa 28 lt/dt

Bulan Kegiatan	$Q_{\text{terpakai}}$ (lt/dt)	$Q_{\text{tersedia}}$ (lt/dt)	$Q_{\text{kelebihan}}$ (lt/dt)
Oktober	20.99	21.00	0
November	11.71	21.00	9.29
Desember	6.22	21.00	14.78
Januari	6.45	21.00	14.55
Februari	7.02	21.00	13.98
Maret	4.22	21.00	16.78
April	13.32	21.00	7.68
Mei	14.93	21.00	6.07
Juni	20.99	21.00	0
Juli	21.00	21.00	0
Agustus	21.00	21.00	0
September	21.00	21.00	0



Lampiran 14. Kebutuhan Air Tanaman (mm/bln) untuk Setiap Kombinasi Pola Tanam

Pola Tanam	Bln Tanam	Bulan Kegiatan						
		N	D	J	F	M	A	M
Pi	Januari	0	200	142	167	133	0	0
Pii	Desember	0	72	101	155	175	95	0
Pi Pa <sub>1</sub>	Desember	200	132	177	121	66	126	57
Pa <sub>1</sub> Pa <sub>2</sub>	Nopember	69	127	68	58	109	130	75
Pa <sub>1</sub> Pa <sub>3</sub>	Nopember	69	127	68	49	137	116	86

Lampiran 15. Keperluan Air bagi Setiap Kombinasi Pola Tanam atau  $q_{ij}$  (lt/dt/Ha) dan Debit yang Tersedia, sisa dari Debit Pompa 28 lt/dt

Bulan Kegiatan	Pola Tanam					Q (lt/dt)
	1	2	3	4	5	
Nopember	0	0	1.92	0.70	0.70	9.29
Desember	0.74	0.38	0.42	0.67	0.67	14.78
Januari	0.09	0.25	0.26	0.07	0.07	14.55
Februari	0.53	0.79	0.31	0.25	0.19	13.98
Maret	0.05	0.68	0.07	0.29	0.42	16.78
April	0	0.79	0.96	0.99	0.90	7.68
Mei	0	0	0.68	0.78	0.84	6.07

Lampiran 16. Tabel Simplex untuk Sisa Debit Air Dari Debit Pompa  
19 lt/dt

Basic Var	Eq No	Z	Coefficient of													Right Side
			$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	
Z	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$a_6$	1	0	0	0	1.92	0.70	0.70	1	0	0	0	0	0	0	0	9.29
$a_7$	2	0	0.74	0.38	0.42	0.67	0.67	0	1	0	0	0	0	0	0	14.78
$a_8$	3	0	0.09	0.25	0.26	0.07	0.07	0	0	1	0	0	0	0	0	14.55
$a_9$	4	0	0.53	0.79	0.31	0.25	0.19	0	0	0	1	0	0	0	0	13.98
$a_{10}$	5	0	0.05	0.68	0.07	0.29	0.42	0	0	0	0	1	0	0	0	16.78
$a_{11}$	6	0	0	0.79	0.96	0.99	0.90	0	0	0	0	0	1	0	0	7.68
$a_{12}$	7	0	0	0	0.68	0.78	0.84	0	0	0	0	0	0	1	0	6.07
$a_{13}$	8	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	24.73



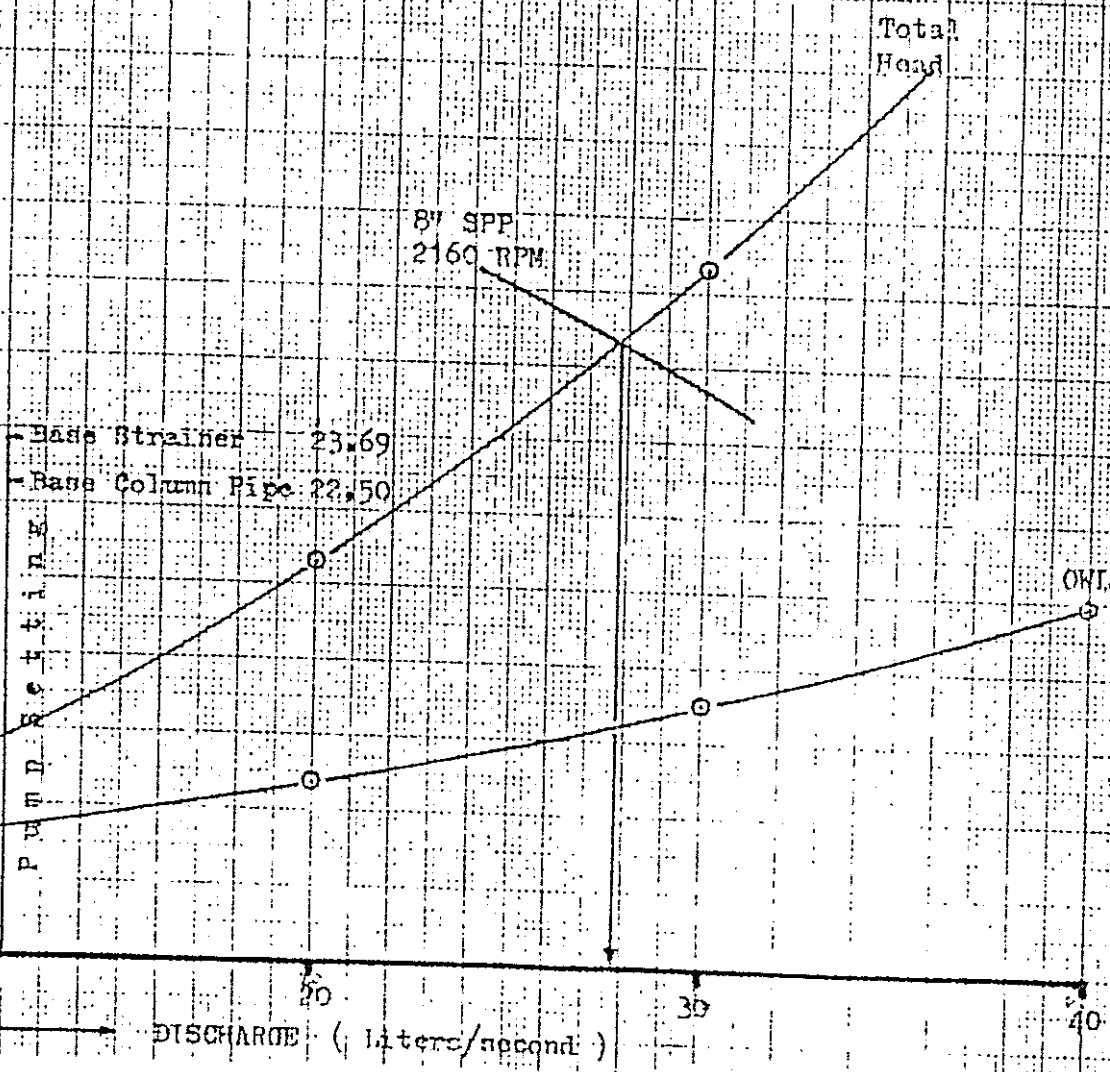
WELL CHARACTERISTIC CURVES

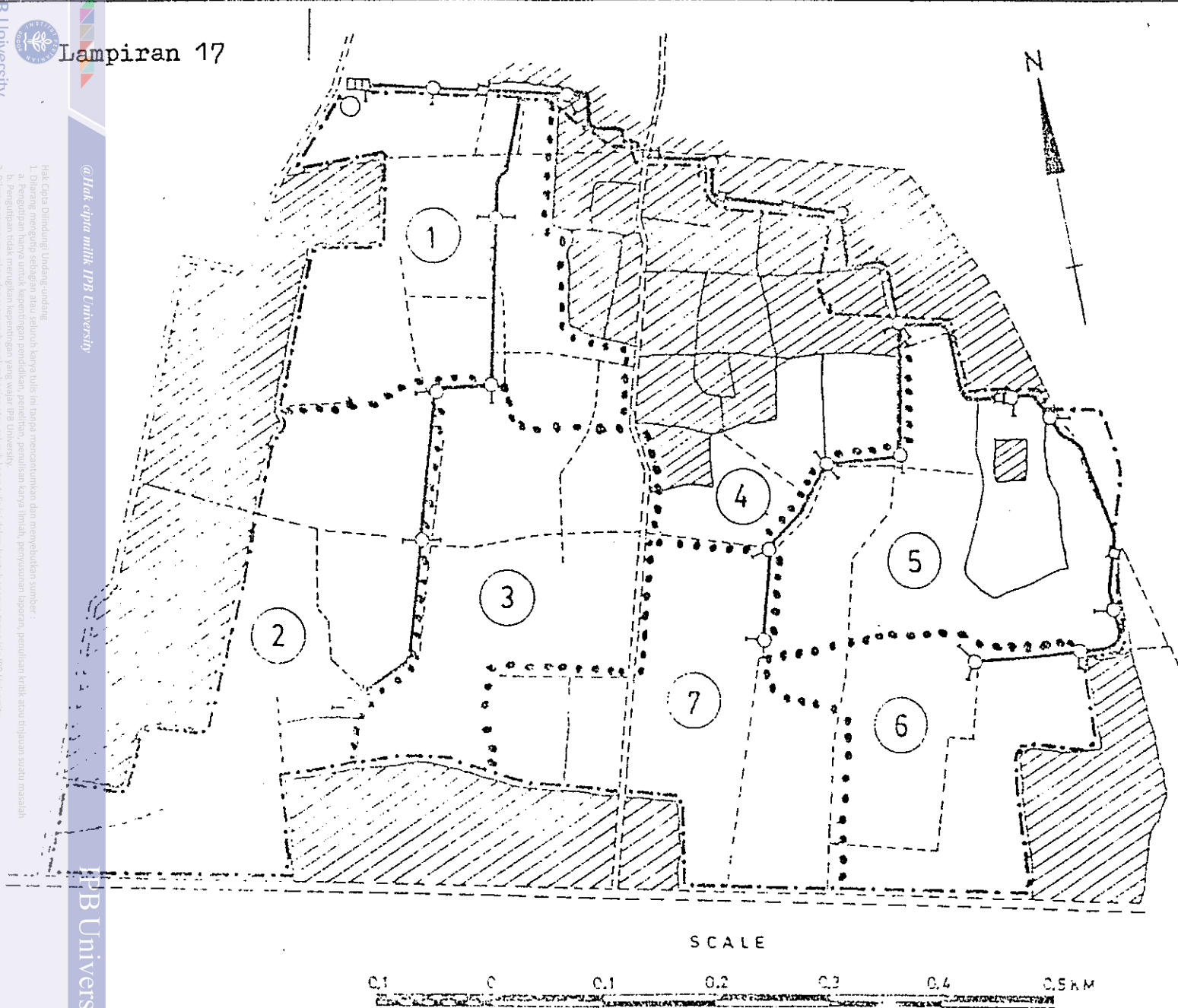
Pump = 8" SPP 3 Stage CH08C/3/145  
 Mean Static Water Level = 12.00 Metres  
 Mean Operating Water Level = 16.40 Metres  
 Design Discharge = 28.00 liters/second.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
 2. Dilarang menggunakan sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

(m) H.T.E.D.

IPB University





## ROTATION SCHEDULE

BLOCK NUMBER	AREA(Ha)	DAY
1	6,2	MONDAY
2	6,3	TUESDAY
3	6,0	WEDNESDAY
4	5,6	THURSDAY
5	6,1	FRIDAY
6	5,9	SATURDAY
7	6,1	SUNDAY

## LEGEND

--- road	⊗ offtake
~ stream	⊠ culvert
- . - . - command boundary	... block boundary
▨ village	⊕ tubewell
— canal	② block number
---	footpath

GILIRAN MAP  
W 21 JATISARI



# TUBEWELL COMMAND AREAS

