

ps F/MP/1992/D74

**KINERJA PENETES DAN RANCANGAN SISTEM IRIGASI TETES
PADA LAHAN PERTANIAN
DI DESA CIKARAWANG, DARMAGA - BOGOR**

Oleh

IRMAN ADIRAHARDJA

F 24. 1071



1 9 9 2

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



**KINERJA PENETES DAN RANCANGAN SISTEM IRIGASI TETES
PADA LAHAN PERTANIAN
DI DESA CIKARAWANG, DARMAGA - BOGOR**

oleh

Irman Adirahardja

F 24.1071

SKRIPSI

sebagai syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada Jurusan Mekanisasi Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

1 9 9 2

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

B O G O R

IPB University
Logo of Institut Pertanian Bogor

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR

KINERJA PENETES DAN RANCANGAN SISTEM IRIGASI TETES
PADA LAHAN PERTANIAN
DI DESA CIKARAWANG, DARMAGA - BOGOR

SKRIPSI

sebagai syarat memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada Jurusan Mekanisasi Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor


oleh

Irman Adirahardja

F 24.1071

Dilahirkan pada tanggal *6 Desember 1968*
di *Bogor*

Ditetapkan dan disetujui
Bogor, *11* *Desember* *1992*



Soedodo H. *Arif Priyanto*

Dr. Ir. Soedodo H., MSc.

Ir. N. Aris Priyanto, MAE

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing II

IPB University
Logo of IPB University
Irman Adirahardja. F 24.1071. Kinerja Penetes dan Rancangan Sistem Irigasi Tetes Pada Lahan Pertanian di Desa Cikarawang, Darmaga - Bogor. Dibawah bimbingan Dr. Ir. Soedodo Hardjoamidjojo, MSc. dan Ir. H. Aris Priyanto, MAE.

RINGKASAN

Metoda irigasi tetes merupakan metoda irigasi yang telah dikembangkan dengan baik dengan keuntungan, antara lain : debit keluaran penetes yang kecil dengan tekanan operasi yang rendah dan disesuaikan dengan kebutuhan air tanaman, pembasahan dilakukan hanya pada daerah perakaran sehingga evaporasi dan perkolasi berkurang, meniadakan limpasan, menjaga kelembaban daerah perakaran selalu konstan.

Penggunaan metoda irigasi tetes pada lahan pertanian dengan tanaman bernilai ekonomis tinggi serta kerentanan terhadap kekurangan air yang tinggi dapat meningkatkan hasil panen yang diperoleh karena kelembaban di daerah perakaran yang relatif konstan dapat terpenuhi.

Masalah khusus ini bertujuan untuk mengamati kinerja penetes, mencari koefisien kekasaran pipa elastis berdinding ganda, mengamati diameter pembasahan dan kedalaman penetrasi air irigasi serta mengamati variasi tekanan dan debit keluaran penetes sepanjang saluran rancangan sistem.

Lahan bernilai *Bulk Density* sebesar 0.9745 gr/cm^3 dan bertekstur liat halus. Kadar air pada kapasitas lapang 49.4% dan 31.1% pada titik layu permanen. Kecepatan infiltrasi potensial tanah sebesar $i_1 = 20.417 t^{-0.4828}$ dan $i_2 = 11.482 t^{-0.3617}$ (cm/jam) pada kadar air 50.3% sedang-

kan infiltrasi kumulatif lahan sebesar $I_1 = 0.427 t^{0.5667}$ dan $I_2 = 0.257 t^{0.6222}$ (cm).

Hasil yang diperoleh menunjukkan hubungan debit keluaran (l/jam) dan tekanan operasi (m) penetes tipe *On-line Pot Dripper* adalah $q_e = 1.3222 H_e^{0.4615}$ ($r = 0.9869$) dengan pola aliran turbulen. Nilai koefisien kekasaran (C) pipa elastis berdinding ganda yang digunakan sebagai saluran utama sebesar 174.3. Persamaan diameter pembasahan (cm) dan debit keluaran penetes (l/jam) adalah $WD = 23.99 + 9.756q_e$ dengan $r = 0.9875$ ($KA_o = 50.28\%$) serta perubahan kadar air pada daerah perakaran (15, 30 dan 45 cm) berturut-turut sebesar 0.07%, 0.14% dan 0.04%. Koefisien keseragaman debit keluaran penetes pada sistem adalah 80.5% - 90.7% (UCC), 65.3% - 81.8% (EU), 0.32 - 0.54 (q_{var}) pada Rancangan 1 sedangkan pada Rancangan 2 menunjukkan hasil 86.0% - 90.1%, 60.9% - 80.6% dan 0.34 - 0.5. Penurunan tekanan pada sistem Rancangan 1 yaitu pada saluran utama, manipol dan lateral sebesar 1.75, 2.45 dan 2.31 m sedangkan pada Rancangan 2 sebesar 2.1, 1.61 dan 3.64 m. Penataan lateral dan manipol pada Rancangan 1 dari segi hidrolis menunjukkan hasil yang relatif lebih baik daripada Rancangan 2. Agar mampu memberikan hasil yang lebih jelas maka plot sebaiknya berukuran ≥ 1 hektar. Namun dalam penerapannya harus mempertimbangkan biaya inisial dan keuntungan yang didapat dari masing-masing rancangan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadapan Allah swt., karena hanya dengan Rahmat-Nya maka penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul "Kinerja Penetes dan Rancangan Sistem Irigasi Tetes Pada Lahan Pertanian di Desa Cikarawang, Darmaga - Bogor".

Kegiatan penulisan skripsi diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian pada Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Penulis dengan kerendahan hati mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Soedodo Hardjoamidjojo, MSc. sebagai dosen pembimbing utama,
2. Ir. H. Aris Priyanto, MAE sebagai dosen pembimbing II,
3. Ir. R. Godfried Sitompul sebagai dosen penguji,
4. Mamah Anon, Bapak Moel, Teh Erna, Kang Iwan, Cheemouth, Kang Ewing, Alo-alo dan saudara-saudara tercinta,
5. Sahabat-sahabat dan semua pihak yang memberikan bantuan dan dorongan selama kegiatan berlangsung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masalah khusus ini masih kurang sempurna, sehingga kritik dan saran yang berguna untuk pengembangan selanjutnya sangat diharapkan.

Bogor, Januari 1992

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. PENGERTIAN IRIGASI	4
B. KONSEP IRIGASI TETES	5
C. PENETES (<i>EMITTER</i>)	9
D. INSTALASI JARINGAN PERPIPAAN	16
E. KEBUTUHAN AIR TANAMAN	28
F. SIFAT FISIK TANAH	32
III. PENDEKATAN DESAIN	38
A. RANCANGAN FUNGSIONAL	38
B. RANCANGAN STRUKTURAL	47
C. PERHITUNGAN DESAIN	50
IV. BAHAN DAN METODA	55
VI. HASIL DAN PEMBAHASAN	60
A. KONDISI FISIK LAHAN	60
B. KINERJA PENETES	63

DAFTAR ISI

	Halaman
C. KESERAGAMAN ALIRAN PENETES DALAM SISTEM .	65
D. DISTRIBUSI TEKANAN DALAM SISTEM	68
E. DIAMETER PEMBASAHAN	81
F. KEDALAMAN PENETRASI AIR IRIGASI	84
VII. KESIMPULAN DAN SARAN	86
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN	91

Halaman ini merupakan bagian dari dokumen yang diterbitkan oleh IPB University. Dokumen ini adalah hak milik IPB University dan tidak boleh disebarluaskan atau digunakan untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari IPB University.

DAFTAR GAMBAR

	<u>Teks</u>	Halaman
Gambar 1.	Skema tata letak sistem irigasi tetes pada lahan pertanian	8
Gambar 2.	Jenis penetes berdasarkan kedudukan penetes terhadap lateral	10
Gambar 3.	Bentuk penataan penetes dan lateral dalam tiap lajur tanaman	12
Gambar 4.	Hubungan antara tekanan operasi (m) dan debit keluaran (l/jam) dari beberapa jenis penetes	13
Gambar 5.	Hubungan antara variasi aliran penetes dan koefisien keseragaman	16
Gambar 6.	Kurva penurunan tekanan akibat gesekan yang disebabkan oleh aliran laminer, aliran pada pipa mulus dan aliran turbulen pada lateral	19
Gambar 7.	Pemilihan diameter lateral dengan menggunakan metoda <i>polyplot</i>	23
Gambar 8.	Nomograf desain umum non dimensi (kemiringan menaik)	25
Gambar 9.	Nomograf desain umum non dimensi (kemiringan menurun)	26
Gambar 10.	Pola pembasahan menggunakan 3 tingkat pembasahan pada volume yang sama	33
Gambar 11.	Diameter pembasahan (m) pada berbagai jenis tanah dan debit keluaran penetes (l/Jam)	34
Gambar 12.	Tinggi tekanan A) distribusi yang lancar, B) untuk sumber air tunggal pada kondisi tetap	35
Gambar 13.	Pola siklik dari tinggi tekanan pada 4 kedalaman	37

DAFTAR GAMBAR

	<u>Teks</u>	Halaman
Gambar 14.	Grafik hubungan antara debit keluaran (Gpj) dan tekanan operasi (Psi) penetes	39
Gambar 15.	Jenis penetes yang digunakan pada lateral rancangan sistem	39
Gambar 16.	Sambungan yang dapat digunakan oleh penetes pada lateral	40
Gambar 17.	Lateral pada rancangan sistem irigasi tetes	42
Gambar 18.	Penataan saluran utama dan manipol pada sistem irigasi tetes (Rancangan 1)	44
Gambar 19.	Penataan saluran utama dan manipol pada sistem irigasi tetes (Rancangan 2)	44
Gambar 20.	Pompa air yang digunakan dan kedudukannya dengan sumber air sistem dalam rancangan sistem irigasi tetes	46
Gambar 21.	Prosedur umum untuk mendesain sistem irigasi tetes	48
Gambar 22.	Rancangan sistem irigasi tetes pada lahan pertanian (Rancangan 1)	49
Gambar 23.	Rancangan sistem irigasi tetes pada lahan pertanian (Rancangan 2)	50
Gambar 24.	Komposisi partikel-partikel tanah	60
Gambar 25.	Grafik hubungan antara tegangan matriks (pF) dan kadar air (%) tanah	61
Gambar 26.	Kurva kecepatan infiltrasi potensial (cm/jam) dan infiltrasi kumulatif lahan (cm)	62
Gambar 27.	Grafik hubungan antara debit keluaran (l/jam) dan tekanan operasi (m)	64

DAFTAR GAMBAR

	<u>Teks</u>	Halaman
Gambar 28.	Distribusi tekanan sepanjang saluran irigasi tetes (Rancangan 1)	73
Gambar 29.	Distribusi tekanan sepanjang saluran irigasi tetes (Rancangan 2)	74
Gambar 30.	Distribusi tekanan sepanjang lateral rancangan (tekanan pompa 7.01 m)	76
Gambar 31.	Distribusi tekanan sepanjang lateral rancangan (tekanan pompa 12.61 m)	77
Gambar 32.	Distribusi tekanan sepanjang lateral rancangan (tekanan pompa 14.02 m)	78
Gambar 33.	Grafik hubungan antara diameter pembasahan (cm) dan debit keluaran penetes (l/jam)	83



DAFTAR TABEL

	<u>Teks</u>	Halaman
Tabel 1.	Kehilangan lokal head tekan penetes sepanjang saluran lateral	20
Tabel 2.	Nilai F untuk lateral dari plastik	21
Tabel 3.	Kuantitas air harian dalam liter /penetes untuk ET yang berbeda dan jumlah penetes per hektar	29
Tabel 4.	Kuantitas air harian (liter/meter panjang lajur) untuk berbagai ET dan jarak baris	29
Tabel 5.	Kinerja penetes tipe <i>On-line Pot Dripper</i> (l/jam)	63
Tabel 6.	Debit keluaran rata-rata penetes dan koefisien keseragaman Christiansen (UCC) penetes pada 3 tingkat tekanan operasi	66
Tabel 7.	Variasi debit keluaran dan koefisien keseragaman emisi (EU) penetes pada 3 tingkat tekanan operasi	67
Tabel 8.	Koefisien kekasaran pipa elastis berdinding ganda	69
Tabel 9.	Distribusi tekanan (m) sepanjang saluran pada sistem rancangan pada tiga tingkat tekanan operasi pompa	70
Tabel 10.	Kehilangan head yang terjadi pada jaringan perpipaan sistem rancangan	71
Tabel 11.	Distribusi tekanan (m) sepanjang lateral pada sistem rancangan pada tiga tingkat tekanan operasi pompa	79
Tabel 12.	Rata-rata diameter pembasahan aktual (WD_a) dan acuan (WD_o) pada berbagai debit keluaran penetes	82
Tabel 13.	Perubahan kadar air (%) pada tiga tingkat kedalaman perakaran	84

DAFTAR LAMPIRAN

	<u>Teks</u>	Halaman
Lampiran	1. Data kondisi tanah Cikarawang, Darmaga - Bogor	91
Lampiran	2. Data karakteristik laju aliran penetes	92
Lampiran	3. Data pengamatan infiltrasi tanah ..	93
Lampiran	4. Grafik kalibrasi <i>Gypsum Block</i>	94
Lampiran	5. Debit keluaran penetes pada Rancangan 1 (l/jam)	95
Lampiran	6. Debit keluaran penetes pada Rancangan 1 (l/jam)	96
Lampiran	7. Debit keluaran penetes pada Rancangan 1 (l/jam)	97
Lampiran	8. Debit keluaran penetes pada Rancangan 2 (l/jam)	98
Lampiran	9. Debit keluaran penetes pada Rancangan 2 (l/jam)	99
Lampiran	10. Debit keluaran penetes pada Rancangan 2 (l/jam)	100
Lampiran	11. Diameter pembasahan (WD_a)	101
Lampiran	12. Diameter pembasahan (WD_a)	102
Lampiran	13. Diameter pembasahan (WD_a)	103
Lampiran	14. Diameter pembasahan (WD_a)	104



I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Pemberian air kepada tanah pertanian merupakan suatu cara untuk mengatasi kekurangan akan kebutuhan air untuk tanaman. Metoda pemberian air tersebut dinamakan irigasi, yang merupakan suatu tehnik yang berusaha untuk memanfaatkan air yang tersedia seoptimal mungkin untuk keperluan pertanian, dengan memberikan air untuk tanaman pada waktu dan jumlah yang tepat (Partowijoto, 1977).

Kebutuhan air untuk tanaman berbeda-beda tergantung jenis dan tingkat pertumbuhannya. Dalam memanfaatkan sumber air bagi tanaman harus dilakukan dengan cara pemberian air irigasi yang sesuai. Hal ini sangat berpengaruh terhadap produksi, terutama bagi tanaman yang rentan terhadap kekurangan air, sehingga harus digunakan suatu metoda yang mampu memberikan air dalam jumlah dan waktu yang tepat (Schwab et al., 1981).

Pada beberapa tahun terakhir, kekurangan air akibat musim kemarau sangat dirasakan oleh masyarakat, khususnya para petani, sehingga selain ditinjau dari kebutuhan air tanaman maka perlu diperhatikan pula pemakaian air yang efisien. Dari beberapa metoda irigasi yang telah dikembangkan maka irigasi tetes merupakan alternatif yang baik sebab memiliki efisiensi penggunaan air irigasi yang paling tinggi.

Irigasi tetes terdiri dari jaringan perpipaan yang ekstensif, yang memberikan air tersaring langsung ke tanah dekat perakaran tanaman. Alat pengeluaran air pada pipa disebut penetes (*emitter*) yang mengeluarkan air hanya beberapa liter/jam dan diletakkan pada jarak yang pendek sepanjang saluran pipa yang berdiameter kecil (Hansen dan Israelsen, 1986).

Debit penetes disesuaikan dengan kebutuhan air tanaman dan pembasahan dilakukan hanya pada daerah perakaran, sehingga dapat mengurangi evaporasi, perkolasi, meniadakan limpasan serta efisiensi pemakaian air dapat mendekati 100% (Jensen, 1983; Schwab *et al.*, 1981).

Dari penetes air akan menyebar secara menyamping dan tegak akibat gaya gravitasi. Daerah yang dibasahi tergantung kepada besarnya aliran, jenis tanah, kelembaban tanah dan permeabilitas tanah vertikal dan horisontal (Hansen dan Israelsen, 1986).

Lebih lanjut Schwab *et al.* (1981) menyatakan, air irigasi dapat diberikan secara efisien pada pohon kecil yang ditanam dengan jarak yang lebar, dan cocok untuk lahan daerah kering.

Menurut Karmeli dan Keller (1975), metoda irigasi tetes telah diterapkan untuk pemberian air dan pemupukan tanaman di dalam rumah kaca. Metoda ini telah menjadi suatu cara yang lazim digunakan di Australia, Jepang, Mexico dan Amerika (California, Hawaii dan Florida).

B. TUJUAN

Tujuan masalah khusus adalah mengevaluasi rancangan sistem irigasi tetes berdasarkan tata letak manipol, agar dapat digunakan sebagai acuan pengembangan sistem irigasi pada lahan pertanian.

Evaluasi rancangan dilakukan berdasarkan hidrolis sistem, yang meliputi :

1. Menentukan kinerja penetes tipe *On-line Pot Dripper*,
2. Menentukan koefisien keseragaman penetes dalam rancangan sistem,
3. Menentukan koefisien kekasaran pipa elastis berdinding ganda (ϕ 13 mm),
4. Menentukan variasi tekanan sepanjang saluran,
5. Mengamati pengaplikasian air irigasi terhadap tanah, antara lain diameter pembasahan dan penetrasi air irigasi pada kedalaman perakaran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PENGERTIAN IRIGASI

Irigasi secara umum diartikan sebagai penggunaan air untuk keperluan penyediaan cairan yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman (Hansen et al., 1986). Irigasi meliputi pengaturan, pengambilan dan penampungan air dari sumbernya, dan mengalirkan air melalui saluran ke tanah.

Lebih lanjut Sosrodarsono dan Takeda (1980), menerangkan bahwa pemberian air pada tanah dan distribusinya harus dilakukan secara sistematis, oleh karena itu perencanaan metoda irigasi berdasarkan kondisi daerah yang bersangkutan dan jumlah air yang diperlukan oleh tanaman.

Menurut Schwab et al. (1981), metoda pemberian air irigasi dapat dibedakan menjadi :

1. Irigasi Permukaan (*surface irrigation*)

Menurut Hansen et al. (1986), sistim irigasi permukaan dapat dibedakan berdasarkan pemberian dan pembagian air pada petak tanaman, yaitu diantara bedeng atau petak tanaman (*furrow irrigation*), secara penggenangan (*flood-ing irrigation*), dan diantara lajur-lajur tanaman (*cor-rugation irrigation*).

2. Irigasi Bawah Permukaan (*subsurface irrigation*)

Pemberian air irigasi dilakukan dengan menggunakan saluran-saluran air di bawah tanah dan bermanfaat bagi daerah dengan topografi datar, lapisan tanah yang tembus

air, tanah gambut yang terletak di atas tanah kedap air dan daerah yang mempunyai muka air tanah cukup tinggi. Dengan metoda ini maka pemberian air irigasi tidak mengganggu pengolahan lahan, dimana mesin-mesin pertanian dapat dioperasikan setiap saat (Hansen *et al.*, 1986).

3. Irigasi Curah (*sprinkler irrigation*)

Pemberian air irigasi terdistribusi secara seragam dan efisien pada areal pertanian dengan menyerupai curah hujan, aliran yang rendah tapi berperiodik (Benami dan Offen, 1984). Sistem ini dapat diterapkan untuk semua areal pertanian dengan berbagai iklim dan topografi bergelombang kecuali daerah dengan suhu dan kecepatan angin yang terlampaui tinggi.

4. Irigasi Tetes (*drip/trickle irrigation*)

Dalam irigasi tetes, pemberian air dilakukan dengan menggunakan beberapa nosel yang diletakkan dipermukaan tanah dekat dengan perakaran tanaman, dengan head tekan yang kecil dan debit kurang dari 1/3 galon/jam (Davies, 1974). Dengan irigasi tetes hanya daerah perakaran yang dibasahi maka mengurangi kehilangan air yang berlebihan.

B. KONSEP IRIGASI TETES

Pada irigasi tetes, pemberian air irigasi dengan cara membasahi daerah sekitar tanaman atau daerah perakaran, bertujuan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman tanpa harus membasahi keseluruhan lahan, sehingga mereduksi kehilangan

air akibat penguapan yang berlebihan dan efisiensi pemakaian air dapat mendekati 100 %. Penggunaan tekanan operasi yang rendah dan debit keluaran yang kecil akan mengurangi limpasan (Jensen, 1983; Schwab et al., 1981).

Pertumbuhan gulma dan hama penyakit tanaman, misalnya rumput teki, bakteri, jamur yang berkembang pada kondisi lembab, dapat dicegah dan dikontrol dengan direduksinya luas permukaan tanah yang dibasahi yaitu kurang dari 50% (Schwab et al., 1981).

Irigasi ini cocok untuk lahan perkebunan dengan pohon kecil dan ditanam dengan jarak yang lebar, lahan yang berlokasi di daerah kering (dataran rendah), pertanian dengan tanaman yang rentan terhadap kekurangan air dan bernilai ekonomi tinggi. Panen dapat meningkat karena kelembaban tanah di daerah perakaran dapat dikontrol agar konstan (Schwab et al., 1981; Hansen et al., 1986).

Pertimbangan dalam memilih sistem irigasi tetes dalam suatu lahan pertanian, menurut Benami dan Offen (1984) antara lain :

1. Dalam irigasi tetes kondisi pepohonan dibiarkan dalam keadaan kering, hal ini mencegah penyakit daun terbakar (*leaf burn*) yang dapat terjadi pada irigasi curah.
2. Dengan menggunakan irigasi tetes pada perkebunan; dengan jarak tanam lebar atau pada perkebunan tebu; maka antara tanaman dibiarkan kering sehingga memudahkan mesin dan alat pertanian lewat walau sedang dalam proses irigasi.

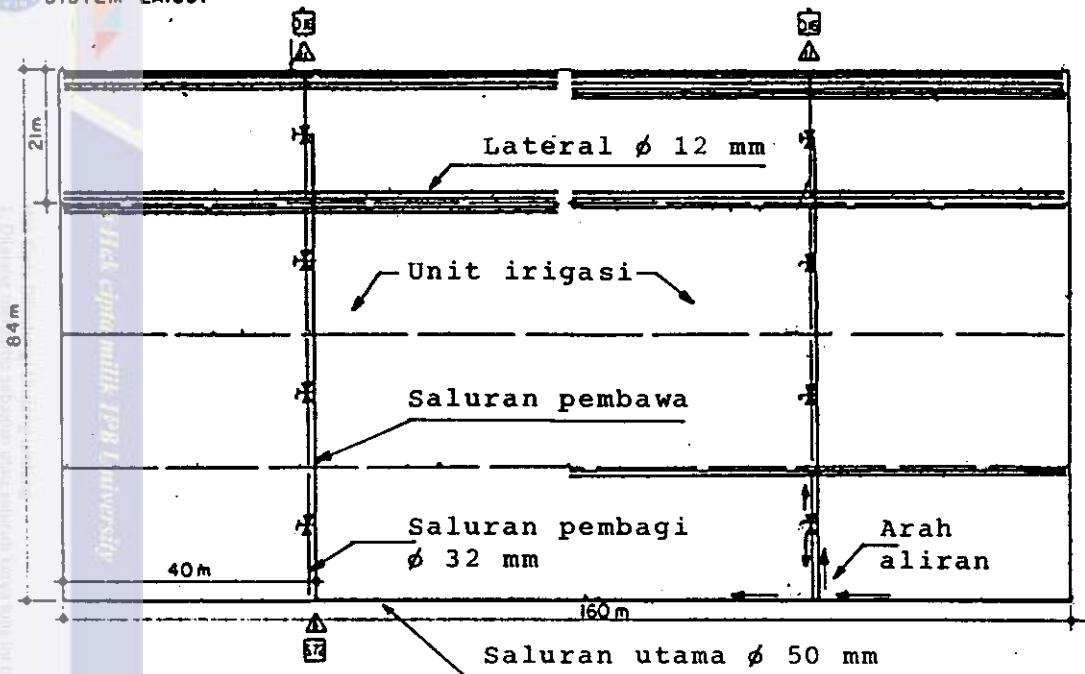
3. Irigasi tetes sesuai untuk tanah dangkal atau sangat padat dengan laju infiltrasi yang rendah serta lahan dengan tudung plastik atau di rumah kaca.
4. Pemupukan akan lebih efisien dimana pupuk terikut hingga daerah perakaran yang dibasahi.
5. Tidak memerlukan penyiapan tanah yang khusus, seperti pembuatan saluran-saluran irigasi pada lahan.

Sistem di lapangan merupakan pengaturan fisik, untuk menyalurkan air dari sumber menuju lahan, melalui jaringan perpipaan. Menurut Jensen (1983) serta Benami dan Offen (1984), komponen utama dari jaringan perpipaan pada irigasi meliputi lateral dan penetes dalam satu bagian mengaplikasi pemberian air, saluran pembagi untuk memecahkan aliran menjadi sekumpulan lateral yang terkumpul dalam satu bagian, dan saluran utama untuk menghubungkan sumber air dengan saluran pembagi yang diletakkan di permukaan tanah. Penetes merupakan titik pemberian air pada tanah, beroperasi pada tekanan masukan yang rendah (± 10 meter) dan debit keluaran yang kecil (2, 4 dan 8 l/jam).

Komponen pelengkap sistem adalah kombinasi pemisah pasir, peralatan sekat, bagian masukan, pengatur aliran atau penurun tekanan, menggunakan pompa booster apabila tekanan gravitasi tidak memadai dan penambahan tangki penyesuai tekanan jika bentuk lahan bergunung (Jensen, 1983).

Skema penggambaran umum sistem irigasi tetes pada lahan perkebunan sayur mayur dapat dilihat pada Gambar 1.

SYSTEM LAYOUT



LEGEND

- Debit operasi
- △ Tekanan operasi
- ⊗ Katup volume

Gambar 1. Skema tata letak sistem irigasi tetes (Karmeli et al., 1985)

Jumlah daerah yang diberi irigasi tergantung bentuk daerah, luas lahan, topografi, jumlah susunan daerah irigasi perhari atau per interval dan batas panjang lateral atau pembagi (Jensen, 1983).

Prinsip mendesain sistem irigasi ini merupakan penginstalasian jaringan perpipaan dengan jarak yang diinginkan serta debit keluaran diatur menggunakan pengatur tekanan. Interval irigasi harus sesuai dengan kebutuhan air tanaman dan jenis tanah, sehingga data lapang mengenai kondisi

lahan harus diperhatikan agar dapat terjamin kesesuaiannya (Benami dan Offen, 1984).

C. PENETES (*EMITTER*)

Penetes merupakan pengatur air yang menyalurkan air dari sumber menuju tanah, yang merupakan penghambur tekanan sistem pada bagian masukan, lazimnya 5 - 15 m, sehingga pada bagian keluaran akan sama dengan tekanan atmosfer (Benami dan Offen, 1984). Pada beberapa titik tertentu pada daerah irigasi, penetes dapat diatur agar terjadi aliran yang maksimum.

Lebih lanjut Benami dan Offen (1984) menjelaskan bahwa penetes biasanya terbuat dari plastik dan diletakkan sepanjang lateral atau antar lateral tergantung debit keluaran penetes, jenis tanah dan fase pertumbuhan.

Jenis-jenis penetes secara umum terdiri dari 5 macam, yaitu :

- a. Penetes aliran panjang (*long path emitter*),
- b. Penetes orifice pendek (*short orifice emitter*),
- c. Penetes berpusaran (*vortex emitter*),
- d. Penetes pengimbang tekanan (*Pressure compensation emitter*),
- e. Penetes pipa atau tabung berporous (*porous tube or pipe emitter*).

Gambar 2 menunjukkan jenis-jenis penetes berdasarkan kedudukan penetes terhadap lateral.



Penetes tipe "on-line"



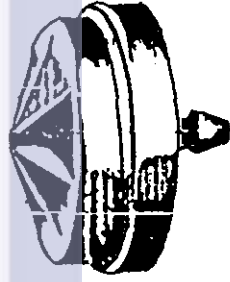
Penampang dalam penetes tipe "on-line"



Pipa penetes tipe tekanan terkontrol otomatis



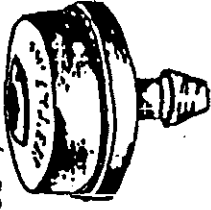
Pipa penetes tipe tekanan terkontrol otomatis untuk beragum musim



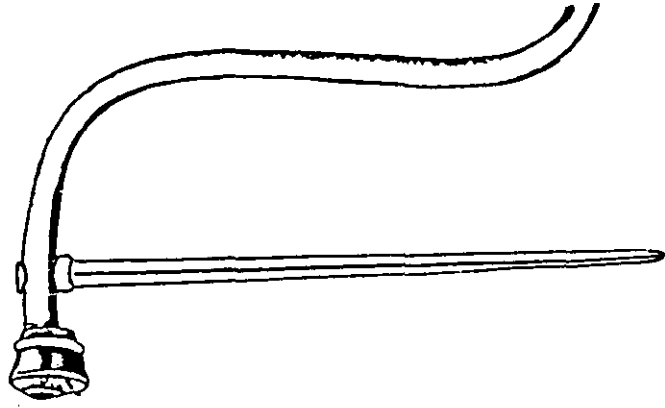
Penetes tipe tekanan terkontrol otomatis



Penetes tipe tekanan terkontrol ("woodpecker")



penetes tipe 'Pot Dripper' dan penstabil



Gambar 2. Jenis penetes berdasarkan kedudukan penetes terhadap lateral (Benami dan Offen, 1984)

Dari Gambar 2 terlihat pada *on-line dripper*, penetes diletakkan sepanjang lateral dan *in-line dripper* maka penetes terletak dalam lateral tersebut (Benami dan Offen, 1984).

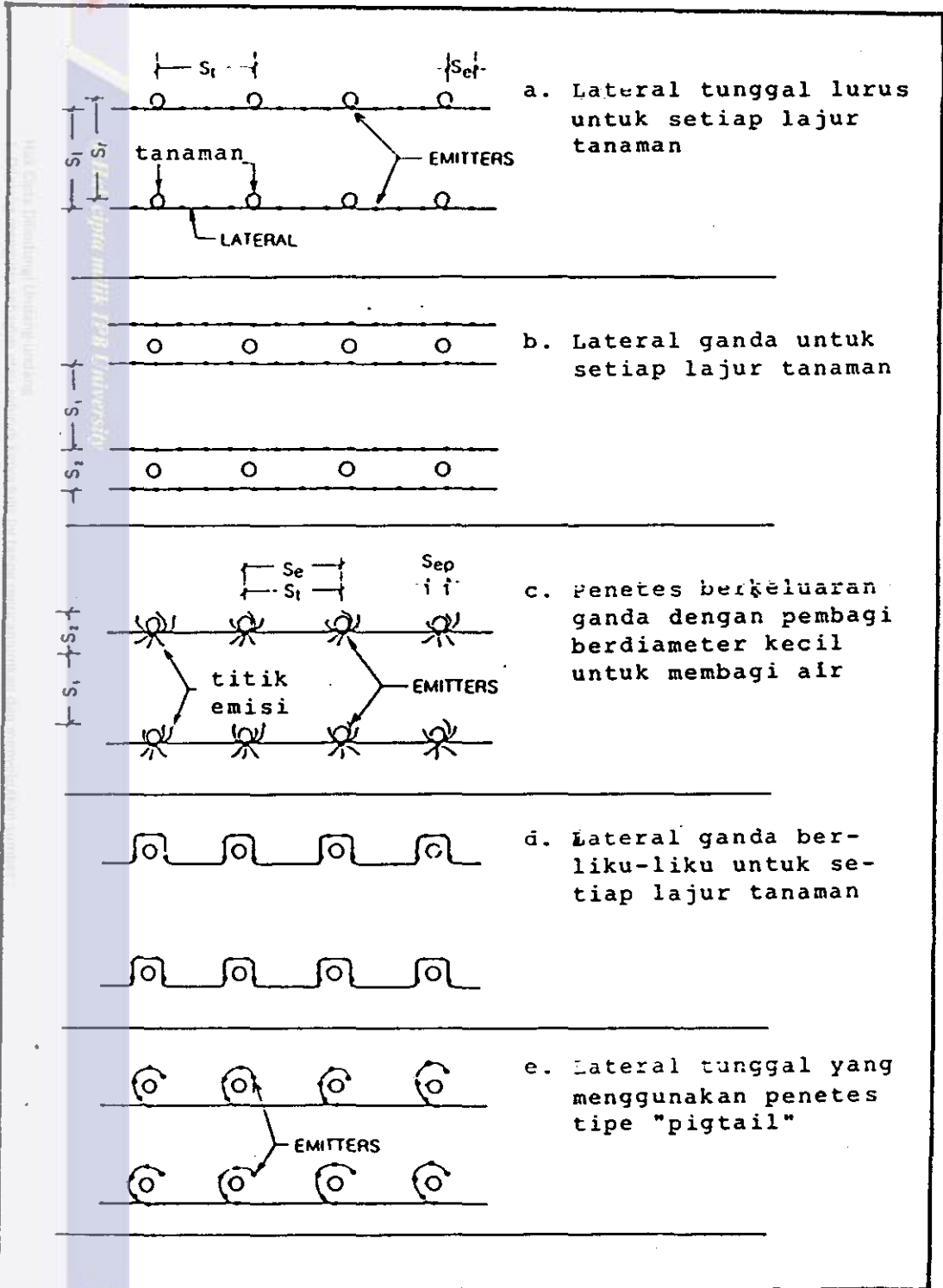
Penataan penetes sepanjang lateral tergantung jumlah penetes tiap tanaman dan jumlah lateral tiap lajur tanaman. Bentuk penataan penetes dan lateral dalam tiap lajur tanaman dapat dilihat pada Gambar 3.

Pemilihan penetes yang digunakan berdasarkan kemampuan serta kesesuaiannya dengan jaringan perpipaan dan sistem penyaringan. Hubungan penetes dengan pipa lateral secara umum menggunakan kopleng searah, dilubangi bagian dinding pipa, atau dipasang pada ujung pipa (Jensen, 1983).

Menurut Karmeli dan Keller (1975), klasifikasi karakteristik penetes terdiri atas : a) bagian aliran, b) penghisap tekanan, c) penghubung lateral, d) pendistribusi air, e) penampang aliran, f) karakteristik pembilasan, g) pengimbang tekanan, dan h) konstruksi bahan.

Menurut Jensen (1983), karakteristik hidrolis aliran penetes berhubungan dengan bentuk pergerakan larutan, dinyatakan dalam bentuk bilangan Reynold (Re), dalam persamaan :

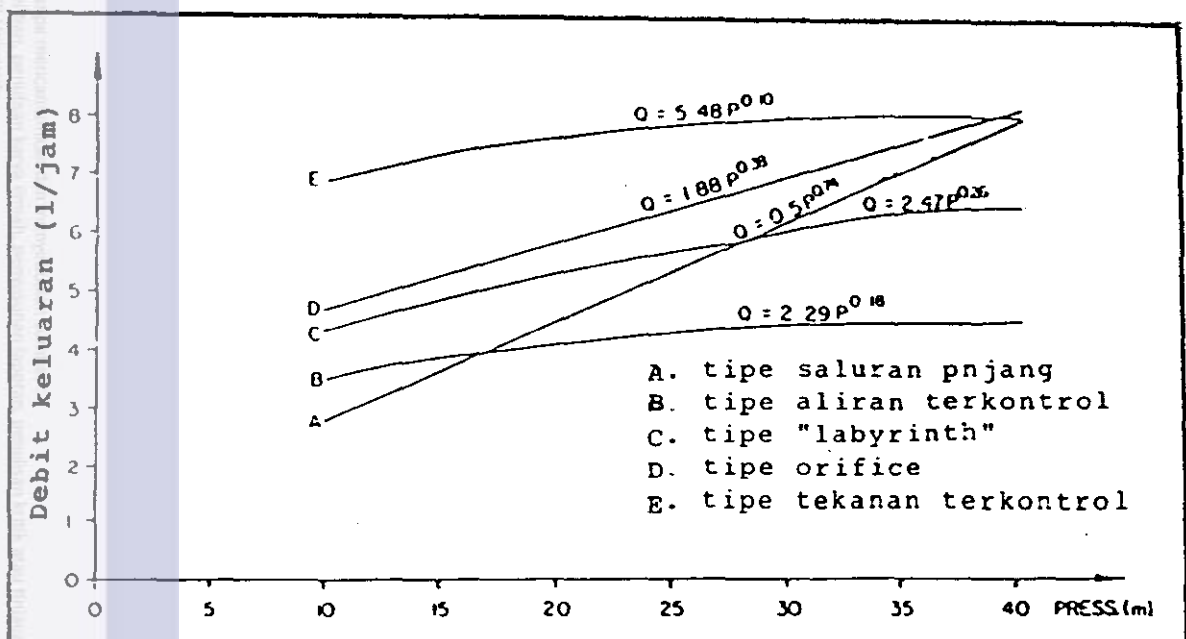
$$Re = \frac{v D}{\tau} \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 3. Bentuk penataan penetes dan lateral dalam tiap lajur tanaman (Karmeli et al., 1985)

Dimana nilai v adalah kecepatan (m/detik), D : diameter pipa (m), τ : viskositas kinematik larutan ($m^2/detik$) sedangkan Re : bilangan Reynold dimana aliran laminer ($Re < 2.000$), tidak stabil ($2.000 < Re \leq 4.000$), turbulen sebagian ($4.000 < Re \leq 10.000$) dan turbulen total ($Re \geq 10.000$).

Setiap penetes memiliki karakteristik tersendiri tergantung ukuran nosel atau bentuk penampang aliran dan bentuk penetes (Karmeli et al., 1985). Hubungan antara tinggi tekanan operasi (meter) dan debit keluaran penetes (l/jam) dari bermacam penetes dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara tekanan operasi (m) dan debit keluaran (l/jam) dari beberapa jenis penetes (Karmeli et al., 1985)

Laju aliran penetes dapat diperoleh dengan persamaan empiris yang merupakan fungsi dari tekanan operasi. Persamaan fungsi aliran penetes (Karmeli et al., 1985) adalah :

$$q = K_e H^x \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- q = laju aliran penetes (l/jam)
- K_e = faktor karakteristik dimensi penetes
- H = tekanan operasi (m)
- x = eksponen keluaran penetes yang menunjukkan pergerakan aliran

Eksponen keluaran penetes (x) menunjukkan bentuk aliran penetes, jika aliran laminer antara 0.8 dan 1.0, aliran turbulen : 0.4 - 0.6, dan jika $n = 0.1 - 0.3$ maka tekanan aliran pada penetes terkontrol (keluaran relatif konstan) seperti pada penetes jenis *Pressure Compensating Dripper* (Karmeli et al., 1985).

Derajat variasi aliran penetes dapat dihitung secara kuantitatif dengan menggunakan persamaan Christiansen (1942 di dalam Karmeli et al., 1985), yaitu :

$$UCC = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum |q' - q|}{N q'} \right] \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- UCC : koefisien keseragaman penetes (%)
- q' : aliran penetes rata-rata (l/jam)
- q : aliran penetes (l/jam)
- N : jumlah penetes

Menurut Benami dan Offen (1984), variasi debit keluaran penetes direkomendasikan sebesar 10% dengan variasi tekanan yang diijinkan 20% (aliran turbulen) dan 15% (aliran laminer) dari tekanan operasi penetes.

Dalam suatu sistem irigasi, penetes diuji kemampuannya dalam menyalurkan air irigasi menuju tanaman sepanjang lateral dengan menggunakan nilai keseragaman debit keluaran penetes (*Uniformity Coeficient Christiansen/UCC*), keseragaman emisi (*Emission Uniformity/EU*) dan variasi keluaran (q_{var}) (Jensen, 1983).

Menurut Karmeli dan Keller (1975 di dalam Jensen, 1983), variasi aliran penetes sepanjang saluran dapat dihitung berdasarkan keseragaman emisi dalam persamaan :

$$EU = (1 - 1.27(e^{-1.2})Cv) (q_{min}/q) \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- EU : keseragaman emisi
- e : jumlah emiter pertanaman
- Cv : nilai konstanta variasi penetes
- q_{min} : aliran minimum penetes (l/jam)
- q : aliran penetes (l/jam)

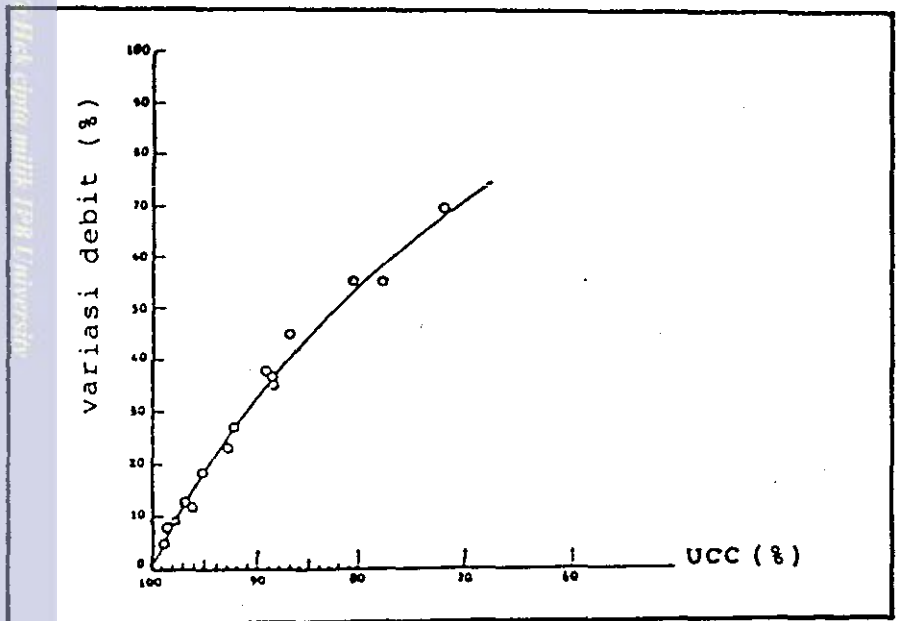
Jensen (1983) menjelaskan bahwa koefisien keseragaman tetesan secara kualitatif dari variasi aliran penetes, yang didapat dari persamaan :

$$q_{var} = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max}} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

- q_{var} : variasi aliran penetes
- q_{max} : aliran maksimum penetes (l/jam)
- q_{min} : aliran minimum penetes (l/jam)

Hubungan antara variasi aliran penetes dan koefisien keseragaman dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara variasi aliran penetes dan koefisien keseragaman (Jensen, 1983)

D. INSTALASI JARINGAN PERPIPAAN

Secara umum, instalasi jaringan perpipaan pada sistem irigasi tetes terdiri dari tiga bagian, yaitu: penginstala-sian saluran utama, submain dikoneksikan dengan manipol dan pengaturan alur lateral (Jensen, 1983).

Sistim irigasi tetes membutuhkan pipa dengan tingkat tekanan mencapai 600 kPa. Pemilihan saluran menggunakan pipa PVC membutuhkan lem koneksi (sambungan solvent), sedangkan pada pipa PE membutuhkan sambungan mekanik seperti sambungan berkait atau kompresi (Jensen, 1983).

Desain hidrolis pada setiap bagian perpipaan memiliki kesamaan dalam perhitungan dan penentuannya. Aliran pada jaringan pipa merupakan aliran mantap (*steady*) dengan debit keluaran total pada saluran (*lateral*, *manipol* dan *utama*), menurun sesuai pertambahan panjang saluran (Jensen, 1983).

Saluran irigasi tetes yang menggunakan pipa plastik dianggap menggunakan pipa mulus (*smooth*). Penentuan kehilangan gesekan dapat digunakan persamaan yang dikemukakan oleh Darcy-Weisbach (Jensen, 1983) sebagai berikut :

$$H_f = 6.377 f L D^{-5} Q^2 \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

- H_f : kehilangan akibat gesekan (m)
- L : panjang pipa (m)
- D : diameter pipa (mm)
- Q : laju aliran (l/jam)
- f : faktor gesekan

Nilai f untuk pipa licin diperoleh dengan persamaan Blassius, adalah sebagai berikut :

- turbulen sebagian ($4.000 \leq Re \leq 10.000$) : $f = 0.316 Re^{-0.25} \dots (7)$

- laminer ($Re \leq 2.000$) : $f = 64/Re \dots\dots\dots (8)$

- transisi ($2.000 \leq Re \leq 4.000$) : $f = 3.42 \cdot 10^{-5} Re^{0.85} (9)$

Dari persamaan Blassius didapatkan bahwa untuk pipa plastik dengan kecepatan aliran maksimum 1.5 m/detik maka nilai C adalah :

- $C = 130$ diameter pipa 14 - 15 mm
- $C = 140$ diameter pipa 18 - 19 mm
- $C = 150$ diameter pipa 25 - 27 mm

Persamaan empiris yang secara luas dipergunakan untuk memperhitungkan kehilangan head tekan akibat gesekan menurut Hazen-William, adalah sebagai berikut.:

$$H_f = 0.628 L D^{-4.865} (100 Q/C)^{1.852} \dots\dots\dots (10)$$

dimana :

- H_f : kehilangan akibat gesekan (m)
- L : panjang pipa (m)
- D : diameter pipa (mm)
- Q : laju aliran (l/jam)
- C : koefisien kekasaran pipa

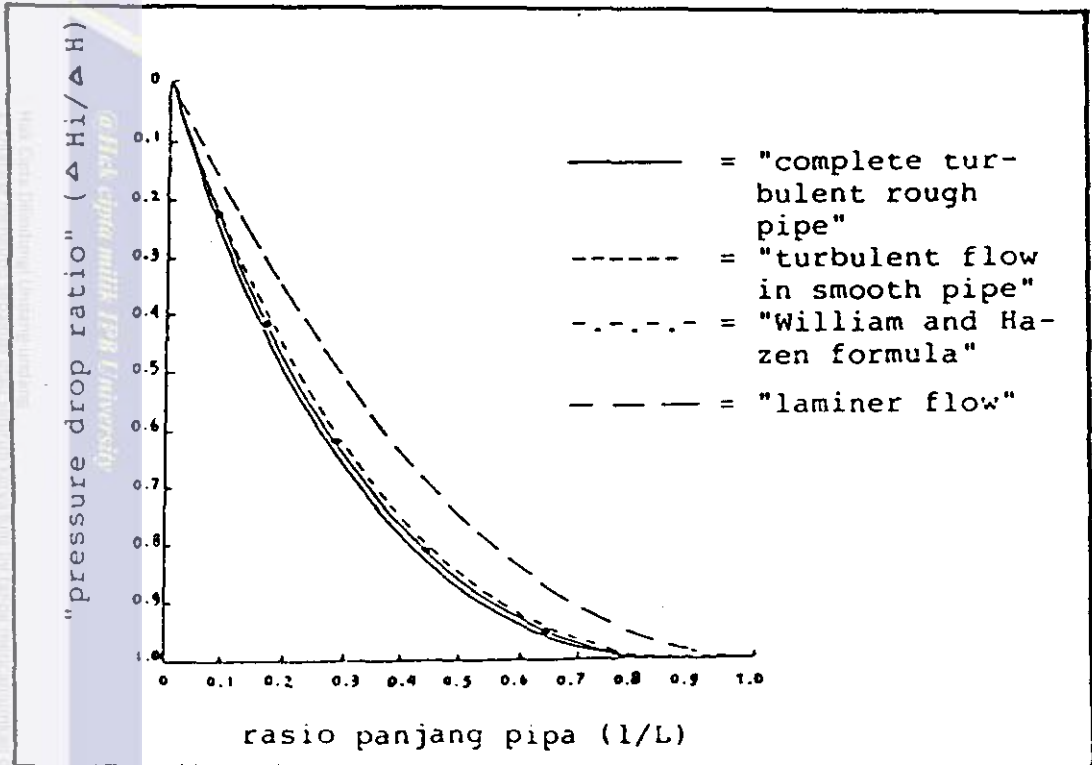
Garis gradien energi untuk lateral atau manipol pada jaringan irigasi tetes disetiap bagian diperoleh dengan persamaan Bernoulli, adalah sebagai berikut :

$$H' = z + H + v^2/2g \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

- H' : energi total (m)
- z : tinggi pipa dari datum / sumber air (m)
- H : tinggi tekanan (m)
- $v^2/2g$: tinggi kecepatan (m)

Laju aliran pada saluran menurun sesuai pertambahan panjang pipa akibat keluaran penetes dari lateral dan keluaran lateral dari saluran pembagi. Garis gradien energi akan berbentuk kurva eksponensial (Myers dan Bucks, 1972 di dalam Jensen, 1983). Garis gradien tekanan tidak berdimensi untuk berbagai laju aliran dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva penurunan tekanan akibat gesekan yang disebabkan aliran laminar, aliran pada pipa mulus dan aliran turbulen pada lateral (Jensen, 1983)

Jaringan Lateral

Dalam desain harus diperhatikan keseragaman penetes yang digunakan atau variasi aliran penetes. Lateral memiliki sambungan hidrolis yang menghubungkan dengan saluran pembagi dan utama, sebagai tambahan digunakan saringan pada bagian masukan lateral dan beberapa jenis katup pembilas di akhir lateral (Jensen, 1983).

Akibat penentuan panjang maksimum lateral dengan kondisi aliran yang diberikan dan kemiringan lahan jika ukuran

pipa, ukuran lahan dan jumlah bagian pada saluran pembagi terbatas. Ukuran pipa yang sesuai secara ekonomi berdiameter kurang dari 25 mm dan pada lateral yang panjang digunakan ukuran yang berubah-ubah.

Kehilangan head tekan minor penetes sepanjang lateral pada umumnya diabaikan atau hanya perkiraan. Walters dan Keller (1978 di dalam Benami dan Offen, 1984) mengamati kehilangan head tekan minor (%) berdasarkan diameter pipa lateral (mm) dan jarak antar penetes (m) untuk penetes tipe *in-line* serta *on-line* (=tidak dipengaruhi diameter lateral) dan merumuskannya sebagai kehilangan head tekan per satuan panjang saluran (m/m lateral), seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kehilangan head tekan minor (%) penetes sepanjang saluran lateral (Benami dan Offen, 1984)

	Jarak antar penetes (m)		
	0.5	1.0	1.5
	<i>in-line dripper</i>		
	48	24	16
	<i>on-line dripper</i>		
ϕ lateral (mm)	33	17	11
12	24	12	8
16	18	9	6
20			

Christiansen (1942 di dalam Benami dan Offen, 1984) telah membuat metoda perkiraan untuk menentukan kehilangan head tekan sepanjang lateral yang menghasilkan nilai F.

Nilai F tersebut tergantung jumlah keluaran (n) sepanjang lateral, lokasi keluaran pertama terhadap bagian inlet lateral dan bahan saluran. Tabel 2 menunjukkan nilai F untuk bahan lateral dari plastik.

Tabel 2. Nilai F untuk lateral dari plastik (Benami dan Offen, 1984)

n	F(1)	F(o)	F(1/2)
5	0.469	0.337	0.410
10	0.415	0.350	0.384
12	0.406	0.352	0.381
15	0.398	0.355	0.377
20	0.389	0.357	0.373
25	0.384	0.358	0.371
30	0.381	0.359	0.370
40	0.376	0.360	0.368
50	0.374	0.361	0.367
100	0.369	0.362	0.366
200	0.366	0.363	0.365

Keterangan :

F(1) jika jarak penetes pertama terhadap masukan sesuai spasing penetes, F(o) jika relatif dekat dengan masukan dan F(1/2) jika berjarak 1/2 spasing penetes.

Kehilangan head tekan (energi) yang diijinkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Jensen, 1983) :

$$P_o/P_n = (q_o/q_n)^{1/x} \dots\dots\dots (12)$$

$$P_o = (P_o/P_n) \sigma [qr/Ke (2- q_o/q_n)]^{1/x} \dots\dots\dots (13)$$

$$P_n = P_o (q_n/q_o)^{1/x} \dots\dots\dots (14)$$

$$H_n = P_n/\sigma ; H_o = P_o/\sigma \dots\dots\dots (15)$$

$$\delta H = H_n - H_o + S_o L \dots\dots\dots (16)$$

$$L = 1.70 \delta H^{0,35} D^{1,71} (C s/ 100qr)^{0,65} \dots\dots\dots (17)$$

dimana :

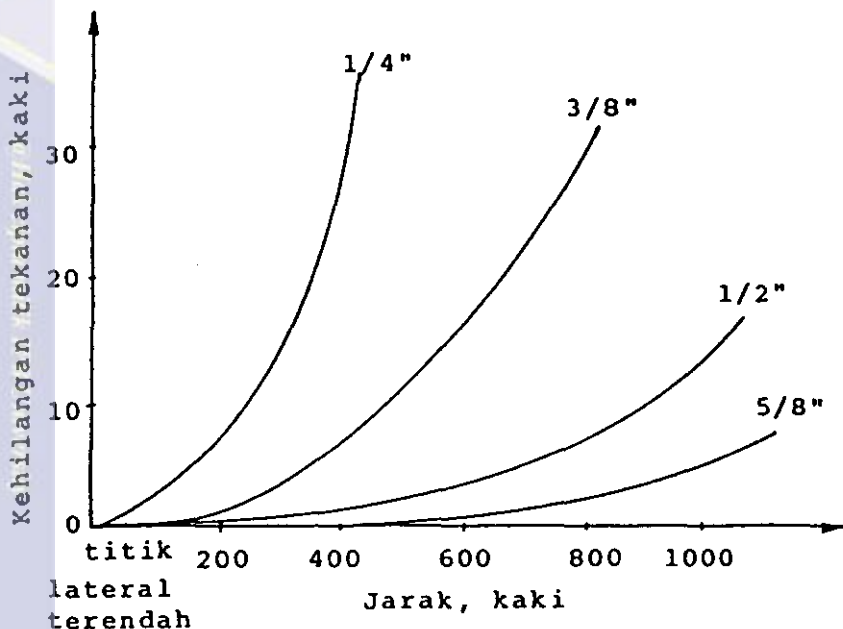
- P : tekanan (kPa)
 q : laju aliran penetes (l/jam)
 σ : Berat spesifik air (9.81 kN/m³)
 H : tinggi tekanan (m)
 δH : kehilangan energi karena gesekan (m)
 D : diameter pipa (mm)
 s : jarak antar penetes (m)
 C : Koefisien kekasaran pipa
 So : kemiringan daerah ("+" untuk kemiringan menurun dan "-" untuk kemiringan menaik)
 L : panjang lateral (m)
 n, o : menunjukkan awal dan akhir lateral

Untuk merencanakan jaringan lateral pada daerah yang bergelombang maka dapat digunakan metoda grafik *Polyplot* yang mampu mendesain diameter dan panjang lateral yang optimum pada kemiringan tertentu (Benami dan Offen, 1984).

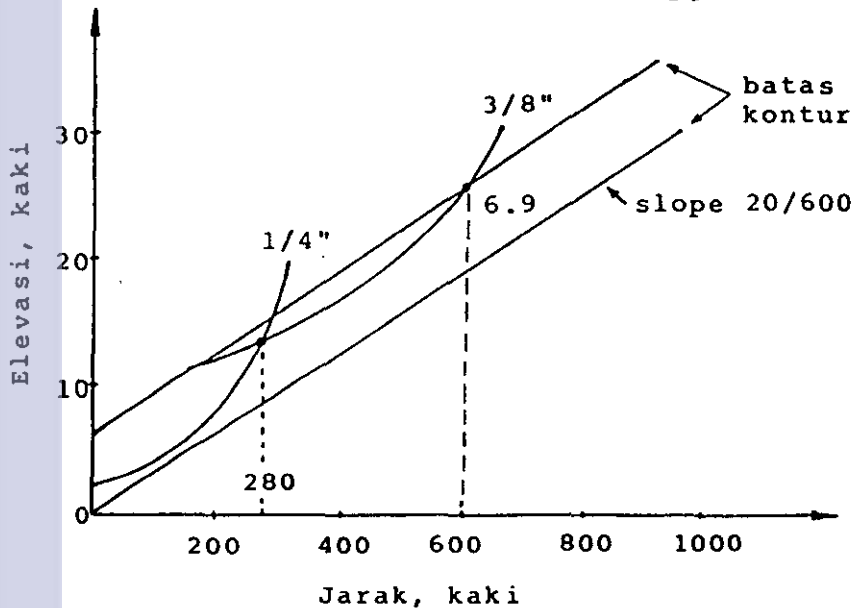
Grafik tersebut akan menentukan laju keluaran spesifik dari pipa berkeluaran ganda (*multiple outlet*) pada berbagai diameter, yang menghasilkan nilai keluaran per satuan panjang lateral. Dengan nilai yang konstan akan menunjukkan berbagai diameter yang sesuai dengan kehilangan head tekan yang diijinkan. Untuk menentukan laju keluaran spesifik atau *Specific Discharge Rate* (SDR) digunakan persamaan (Benami dan Offen, 1984) :

$$\text{SDR} = \frac{\text{debit keluaran outlet (Gpj)}}{\text{jarak antar outlet (kaki)}} \dots\dots\dots (18)$$

Gambar 7 menunjukkan pemilihan diameter pipa untuk lateral (600 kaki) dengan $q_{\text{penetes}} = 1 \text{ Gpj}$, jarak antar outlet 20 kaki, variasi maksimum tekanan sepanjang lateral 20%



A. Kurva kehilangan tekanan; untuk S.D.R = 0.05 Gpj/kaki



B. Batas kontur

Gambar 7. Pemilihan diameter lateral dengan menggunakan metoda Polyplot (Herbert, 1974 di dalam Benami dan Offen, 1984).

Untuk memudahkan pemilihan diameter pada berbagai kemiringan (*slope*) maka dirancang nomograf desain lateral untuk kemiringan menaik atau menurun oleh Wu dan Gitlin (1974 di dalam Jensen, 1983), seperti disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Rasio L/H dan keseragaman lateral dihitung jika kemiringan dan laju aliran total lateral diketahui, dimana pada desain nilai C dipilih yang diijinkan.

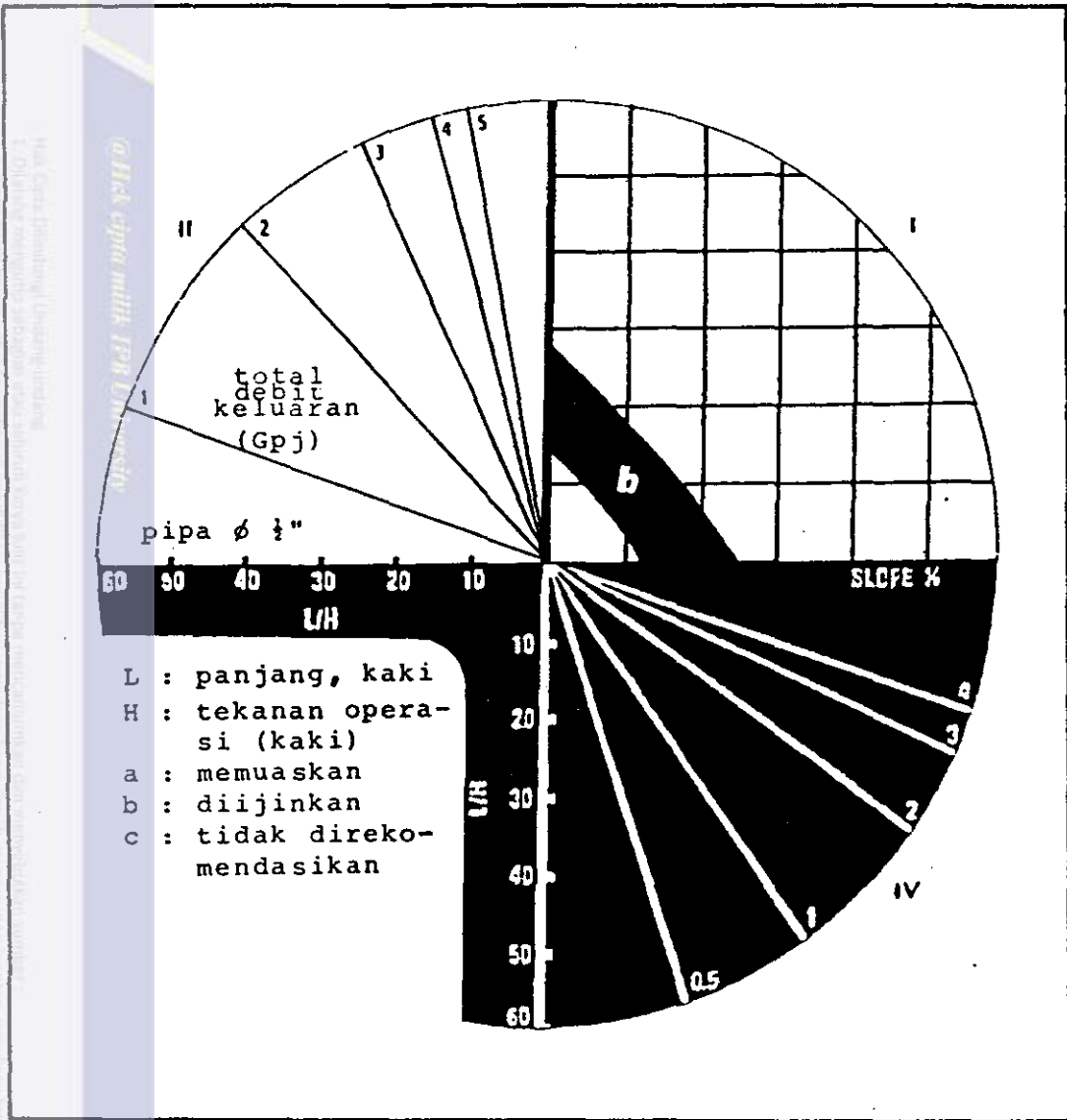
Apabila ukuran pipa tidak diketahui namun panjang lateral ditentukan, maka digunakan persamaan Wu (1977 di dalam Jensen, 1983) dengan menggunakan nomograf desain atau persamaan untuk mencari diameter pipa (D):

$$D = 0,73 (\delta H)^{-0,20} (L)^{0,58} (100 q_r/C_s)^{0,38} \dots\dots (19)$$

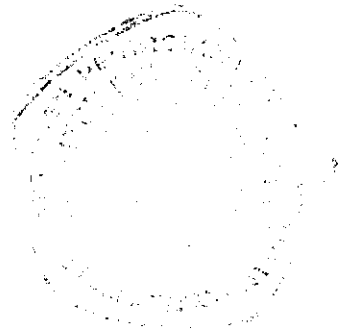
dimana :

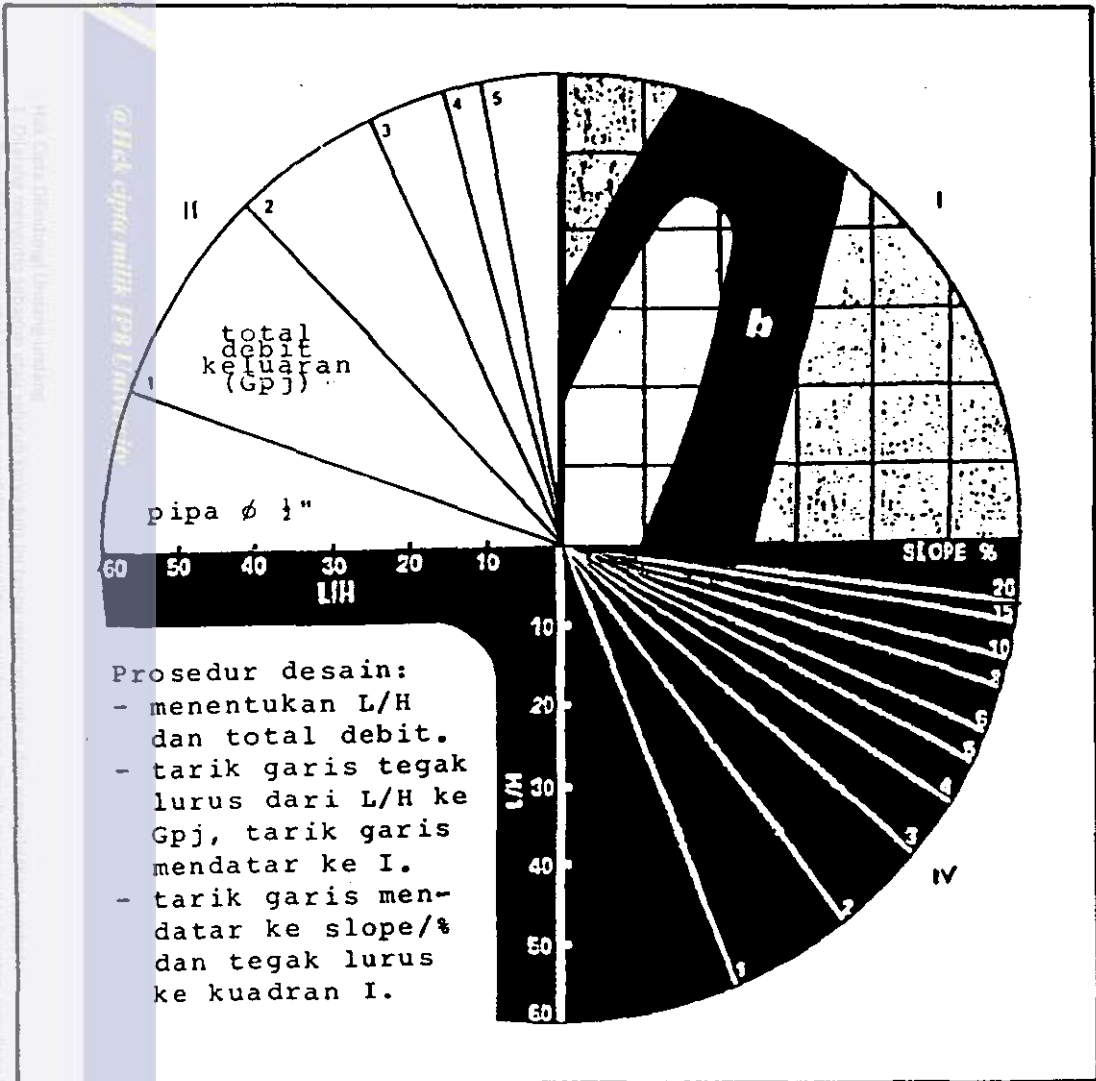
- q : laju aliran penetes (l/jam)
- δH : kehilangan energi karena gesekan (m)
- D : diameter pipa (mm)
- s : jarak antar penetes (m)
- C : Koefisien kekasaran pipa
- L : panjang lateral (m)

Desain ukuran pipa yang digunakan harus lebih besar dari ukuran perhitungan dan disesuaikan dengan ukuran yang dipasarkan.



Gambar 8. Nomograf desain umum non dimensi pada kemiringan menaik (Benami dan Offen, 1984)





Gambar 9. Nomograf desain umum non dimensi pada kemiringan menurun (Benami dan Offen, 1984)



Manipol (Saluran Pembagi)

Desain hidrolis manipol sama dengan lateral dan secara normal didesain agar memberikan kehilangan energi yang sama dengan lateral yang mendatar.

Perbedaan ketinggian akan merubah distribusi hilangnya energi. Karmeli dan Keller (1975 di dalam Jensen, 1983), menyarankan agar kehilangan energi sebesar 55% pada lateral dan 45% pada manipol dari total kehilangan energi.

Desain manipol tergantung dari pengaturan tekanan atau lokasi aliran, secara normal pengaturan tekanan dan aliran berlokasi pada bagian masukan manipol. Kehilangan energi tidak boleh melewati batas yang diijinkan tanpa menurunkan keseragaman aliran.

Panjang dan diameter manipol diperhitungkan dengan menyeimbangkan biaya tenaga dan biaya perpipaian.

Pada saluran utama dan manipol sebaiknya dilengkapi katup pengendap serta disetiap sambungan lateral dan manipol dipasang penyaring sekunder untuk mencegah benda asing masuk ke lateral yang akan menyumbat penetes.

Katup pengontrol (vakum) dipasang pada manipol untuk mencegah partikel tanah mengalami arus balik ke penetes ketika aliran dimatikan.

Posisi bagian masukan manipol tergantung pada kemiringan lahan, diusahakan posisi bagian masukan menyebabkan aliran yang mendaki lebih pendek daripada aliran yang menurun dan diletakkan didekat pusat manipol.

Karakteristik manipol dapat dihitung dengan mengasumsikannya sebagai lateral, begitu pula untuk menghitung kehilangan energi yang terjadi. Kehilangan energi pada sambungan dengan lateral tergantung jenis sambungan yang digunakan, sehingga kehilangan total pada manipol sudah termasuk kehilangan energi akibat penyaring, katup penyaring dan kehilangan minor lainnya.

Saluran Utama

Didesain berdasarkan tekanan masukan, tekanan yang diinginkan dan kemiringan garis gradien energi. Energi total lebih besar daripada yang dibutuhkan pada saluran pembagi irigasi lainnya.

Pengontrol atau pengatur aliran dan tekanan diperlukan pada bagian masukan saluran pembagi. Kehilangan energi di saluran utama tidak mengakibatkan sistem tidak seragam dan ukuran pipa saluran utama tergantung perhitungan ekonomi yang membandingkan antara biaya tenaga dan biaya perpipaan. Ukuran pipa utama dipilih dengan meminimumkan jumlah biaya kapital dan biaya tenaga selama umur penggunaan pipa (Wu, 1975 di dalam Jensen, 1983).

E. KEBUTUHAN AIR UNTUK TANAMAN

Kebutuhan air tanaman dapat dinyatakan dalam satuan volume air per satuan lahan (kedalaman) per satuan waktu. Laju aplikasi irigasi tetes dinyatakan dalam satuan volume air per tanaman per satuan waktu. Tabel 3 menunjukkan ni-

lai konversi kuantitas debit penetes dan densitas penetes (jumlah penetes per ha) dengan penggunaan air tanaman sedangkan pada Tabel 4 memberikan nilai konversi penggunaan air sistem untuk beragam jarak baris tanaman serta beberapa nilai ET tanaman (Jensen, 1983). Sistem harus didesain agar mencapai kebutuhan puncak tanaman sehingga laju aliran mencukupi kebutuhan tanaman dengan keadaan yang kontinyu.

Tabel 3. Kuantitas air harian (l/penetes) untuk ET yang berbeda dan jumlah penetes per ha (Jensen, 1983)

ET mm/hari	Jumlah penetes per hektar							
	250	500	750	1000	1500	2000	2500	5000
1.25	50	25	17	12	8	6	5	2
2.50	100	50	33	25	17	12	10	5
3.75	150	75	50	37	25	19	19	7
5.00	200	100	66	50	33	25	20	10
6.25	250	125	83	62	42	31	25	12
7.50	300	150	100	75	50	37	30	15

Tabel 4. Kuantitas air harian (l/meter lajur) untuk berbagai ET dan jarak baris tanaman (Jensen, 1983)

Jarak baris (m)	ET (mm/hari)			
	5.00	6.25	7.50	10.00
0.50	2.5	3.1	3.8	5.0
0.75	3.7	4.7	5.6	7.5
1.00	5.0	6.3	7.5	10.0
1.50	7.5	9.4	11.3	15.0
2.00	10.0	12.5	15.0	20.0

Ukuran dari daerah perakaran yang diairi oleh irigasi tetes tergantung jumlah penetes per tanaman, lokasi penetes laju aplikasi serta kuantitas dan konduktivitas hidrolis tanah (Jensen, 1983).

Lebih lanjut Jensen (1983) menjelaskan, pengukuran menggunakan metoda kesetimbangan air merupakan penerapan hukum kesetimbangan massa. Kandungan air pada volume tanah yang diberikan tidak akan bertambah tanpa adanya penambahan dari luar atau berkurang akibat evaporasi atau transpirasi (dalam proses evapotranspirasi) atau menyerap ke lapisan yang lebih dalam akibat drainase.

Pada tanah berlapis yang dangkal dan kedalaman perakaran terbatas maka tanaman cepat dipengaruhi oleh stress jika laju aplikasi irigasi tidak sesuai. Proporsi pembasahan daerah perakaran harus lebih luas daripada profil tanah seragam (Phene dan Beale, 1976 di dalam Jensen, 1983).

Persamaan terpadu yang menunjukkan kesetimbangan air pada periode waktu dan volume tanah tertentu pada suatu daerah irigasi (Jensen, 1983) yaitu :

$$P + I - Q - D - E - T \pm \delta\theta = 0 \quad \dots\dots\dots (20)$$

dimana :

- P : curah hujan (presipitasi)
- I : irigasi
- Q : limpasan (*run off*)
- D : drainase
- E : evaporasi
- T : transpirasi
- $\delta\theta$: perubahan kandungan air

Untuk mengukur kebutuhan air tanaman dapat dilakukan dengan pendekatan evapotranspirasi tanaman dengan metoda Blaney-Criddle dalam persamaan :

$$ET_o = K_c p (0.457t + 8.13) \dots\dots\dots (21)$$

dimana :

- ET_o : Evapotranspirasi (mm/hari)
- K_c : koefisien tanaman
- p : persentase lama penyinaran matahari (desimal)
- t : suhu rata-rata bulanan (°C)

Menurut Shockly (1955), hubungan kebutuhan tanaman menunjukkan kelembaban sangat sesuai pada tanaman setiap saat dan tidak menunjukkan kelembaban tanah dan muka air dibawah perakaran. Kedalaman perakaran dapat dibagi menjadi 4 bagian (setiap 25% kedalaman) yaitu: 40%, 30%, 20% dan 10% dari total air yang digunakan. Selanjutnya dinyatakan pertumbuhan tanaman akan naik hingga pada saat 1/4 bagian atas dari daerah perakaran kehilangan kelembabannya.

Saat dan kuantitas irigasi berhubungan langsung dengan berbagai keadaan. Aplikasi irigasi merupakan volume per irigasi dibagi frekuensi irigasi dalam jumlah hari per irigasi harus sebanding dengan laju kebutuhan air netto selama periode tersebut.

Jika aplikasi pengirigasian dibawah titik optimum, batas kualitas pengirigasian, hasil tanaman akan meningkat dengan menurunnya frekuensi irigasi. Keuntungan bagi tanaman yang berjarak lebih luas, frekuensi irigasi lebih

kecil sebab air yang hilang dalam aplikasi yang tidak efisien sebanyak evaporasi tanah.

Untuk tanaman berdensitas rendah usaha irigasi tetes menghemat sejumlah air, terutama ketika tanaman masih muda dan penutupannya belum sempurna. Membandingkan antara metoda aplikasi terhadap respon tanaman sangat sulit jika sistem irigasi dan pengelolaan sistem tidak berdiri sendiri-sendiri (Buck et al., 1973 di dalam Jensen, 1983).

F. SIFAT FISIK TANAH

1. Pola Pembasahan Selama Infiltrasi

Pendugaan jumlah volume tanah yang dibasahi menggunakan aplikasi pemberian air dengan menganggap tanah sebagai *hemisphere* dan mengasumsikan volume tanah yang dibasahi dalam keadaan kadar air volumetrik (θ_i) menuju kadar air akhir (θ_f).

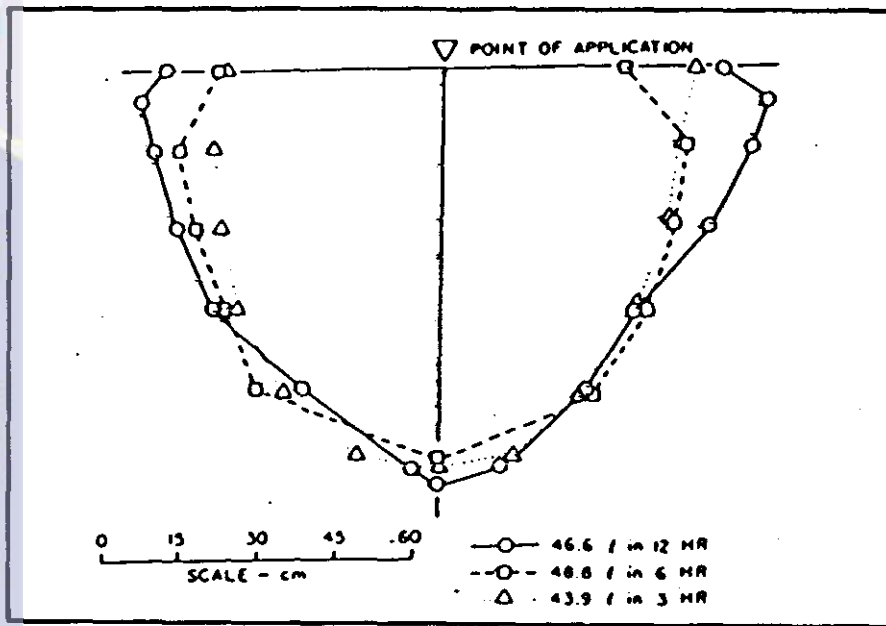
Radius *hemisphere* yang dibasahi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (Jensen, 1983) :

$$r = [3qt / 2\pi(\theta_f - \theta_i)]^{1/3} \dots\dots\dots (22)$$

dimana :

- q : laju volumetrik pemberian air (m^3/jam)
- t : waktu pemberian air (jam)
- r : radius pembasahan (m)

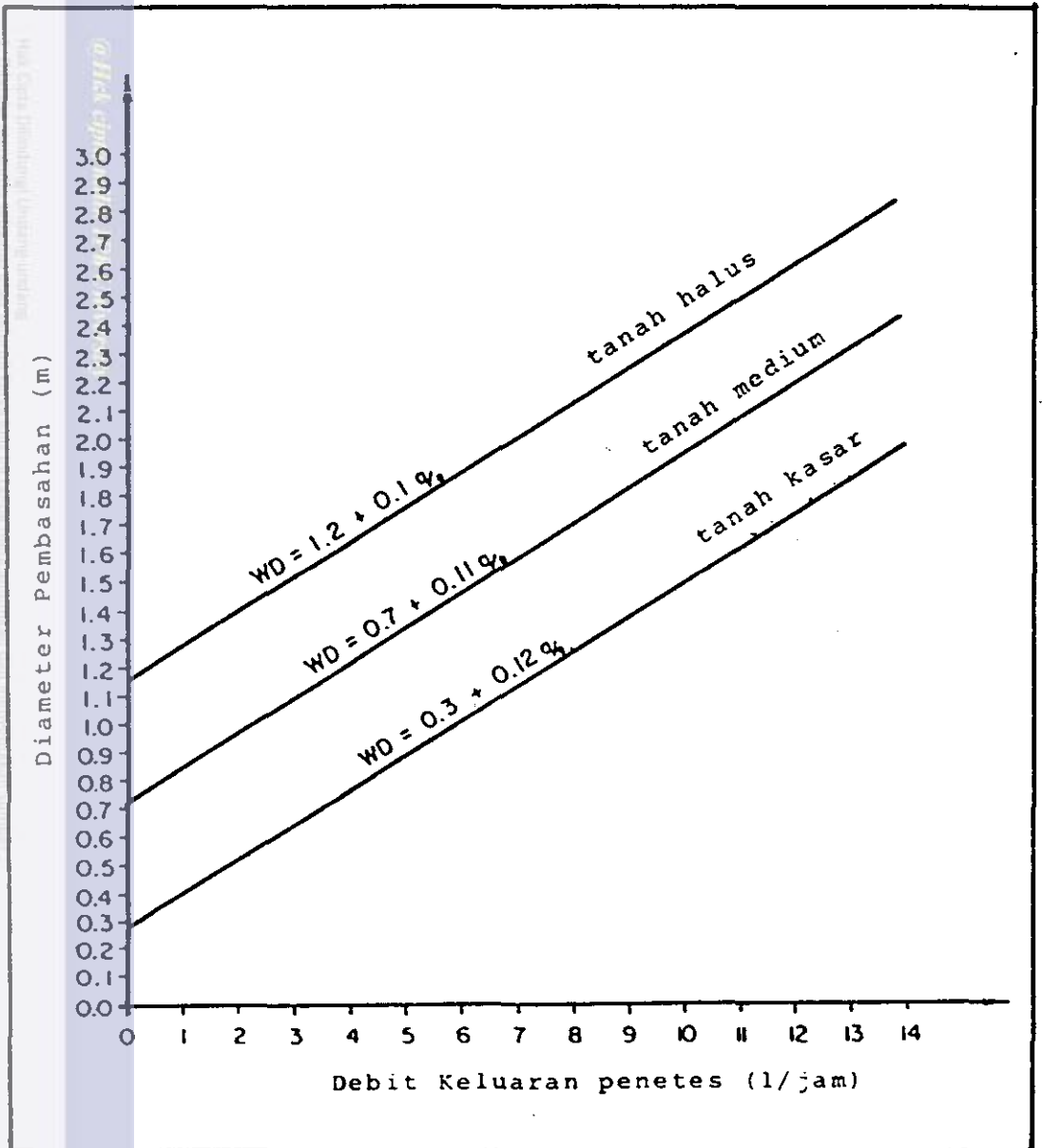
Penggalian dilakukan pada suatu titik secara vertikal melewati titik aplikasi dan daerah pembasahan menunjukkan hasil seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Pola pembasahan menggunakan tiga tingkat pembasahan pada volume yang sama (Jensen, 1983)

Tingkat pengaplikasian yang baik adalah kecilnya pengaruh gaya gravitasi dan menghasilkan daerah pembasahan yang lebih dangkal. Air akan menyebar ke seluruh permukaan setelah penetes dijalankan kemudian secara bertahap daerah pembasahan akan meluas dan terbentuk terbatas yang cenderung stabil pada diameter 1 meter.

Daerah pembasahan tergantung laju pengeluaran, tipe tanah, menyangkut konduktivitas hidrolis, dan karakteristik infiltrasi. Semakin besar laju pengeluaran dan berkurangnya laju infiltrasi maka daerah pembasahan semakin luas. Diameter pembasahan (m) pada berbagai jenis tanah dan debit keluaran penetes (l/jam) dapat dilihat pada Gambar 11 (Jensen, 1983; Karmeli *et al.*, 1985).

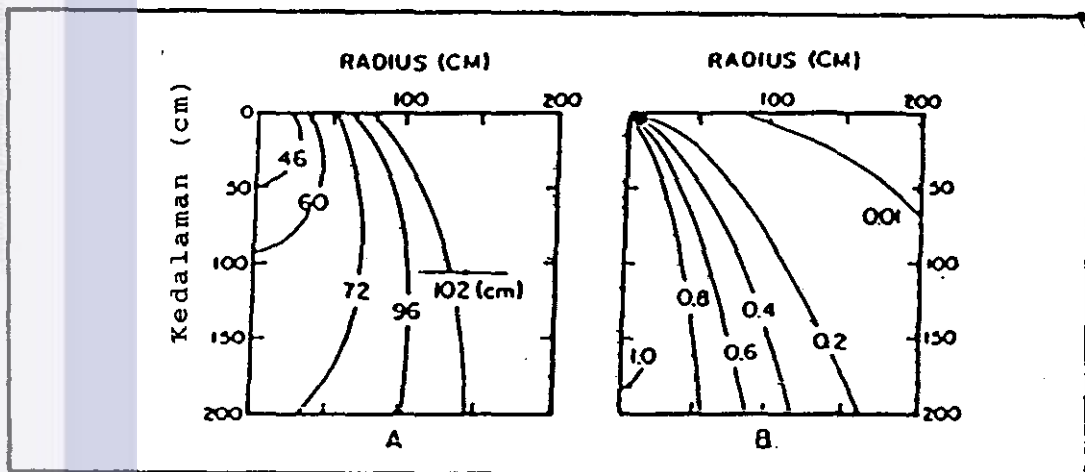


Gambar 11. Diameter pemasahan (m) pada berbagai jenis tanah dan debit keluaran penetes (l/jam) (Karmeli *et al.*, 1985)

2. Distribusi Tinggi tekanan, Pola Aliran dan Kandungan air Pada Aliran Tetap (Steady)

Setelah berinfiltrasi dalam jangka waktu tertentu maka kandungan air pada daerah-daerah pembasahan akan stabil. Kandungan air akan bertambah hanya pada jarak yang jauh dari daerah aplikasi dan kenaikan kandungan air di daerah tersebut diabaikan (Jensen, 1983).

Untuk sumber air tunggal maka distribusi head tekan dalam keadaan tetap dan distribusi yang lancar dapat dilihat pada Gambar 12 dimana nilai tinggi tekanan dengan nilai konduktivitas hidrolik (K) sebesar $100 e^{0.064}$ mm/hari dan laju aliran 0.42 l/jam.



Gambar 12. Tinggi Tekanan A) distribusi yang lancar B) untuk sumber air tunggal pada kondisi tetap (Jensen, 1983)

3. Tanah Heterogen

Pada irigasi tetes pergerakan air diharapkan sama, namun hanya dapat terjadi pada tanah yang bertekstur

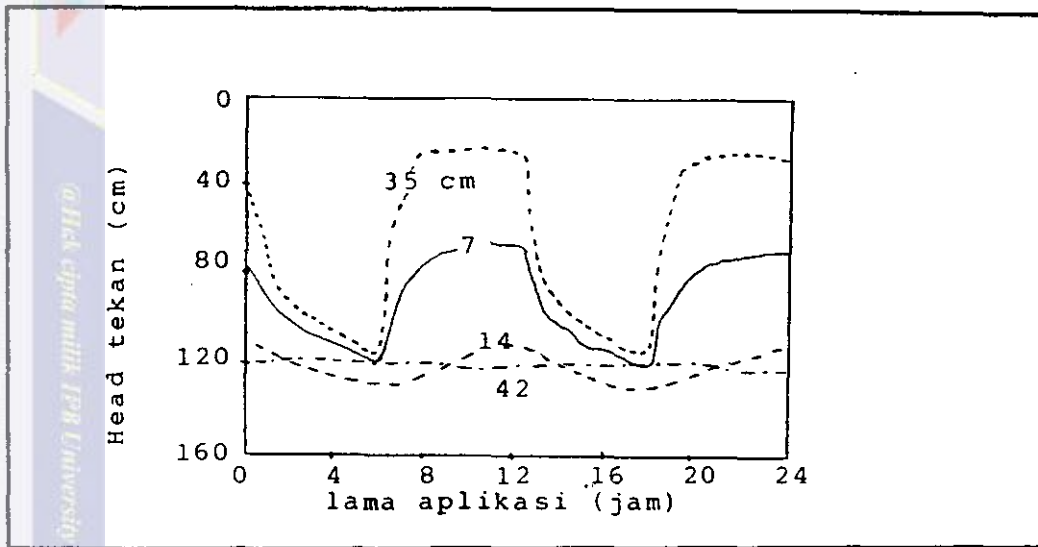
baik di atas lapisan batuan. Pada keadaan tersebut maka pergerakan air pada lateral menuju hingga diatas daerah transisi sehingga tekanan vertikal menurun cukup banyak untuk menghasilkan penetrasi pada lapisan batuan.

Menurut Jensen (1983), pada keadaan tertentu infiltrasi akan menunjukkan hasil seperti Gambar 10 sehingga daerah transisi tercapai namun penyebaran secara langsung dipengaruhi oleh konduktivitas hidrolik tanah.

4. Pola Distribusi Siklik

Kandungan air akan meningkat dengan bertambahnya waktu ketika air ditambahkan dan mulai menurun pada saat aliran penetes dimatikan. Variasi kandungan air tergantung frekuensi irigasi, laju keluaran penetes dan jarak antara lokasi dan sumber. Terjadinya peningkatan variasi kandungan air akan berbeda untuk setiap profil dan akan terjadi perbedaan (*lag*) pada lokasi yang jauh dari sumber pengaplikasi air.

Variasi siklik dari tinggi tekan (cm) pada empat kedalaman pada tanah heterogen ditunjukkan pada Gambar 13 (Merril et al., 1978 di dalam Jensen, 1983), dengan pengukuran pada lubang tidak terganggu berdiameter 40 cm dengan ke-dalaman 82 cm. Aplikasi equivalen dengan laju tetap 10 mm/jam pada seluruh bagian menggunakan siklus 12 jam.



Gambar 13. Pola siklik dari tinggi tekanan pada empat kedalaman (Jensen, 1983)

III. PENDEKATAN DESAIN

A. RANCANGAN FUNGSIONAL

Dalam rancangan sistem irigasi tetes meliputi jaringan utama yang harus dimiliki dalam suatu jaringan irigasi yang terdiri atas saluran utama, manipol, lateral dan penetes.

Peralatan utama yang mendukung jaringan sistem irigasi tetes adalah pompa air, dalam hal ini digunakan pompa air listrik. Peralatan sistem lainnya tidak digunakan agar menekan biaya sistem dan biaya operasional sistem, diantaranya sistem penyaringan (filtrasi) dan *Regulator* tekanan.

1. Penetes

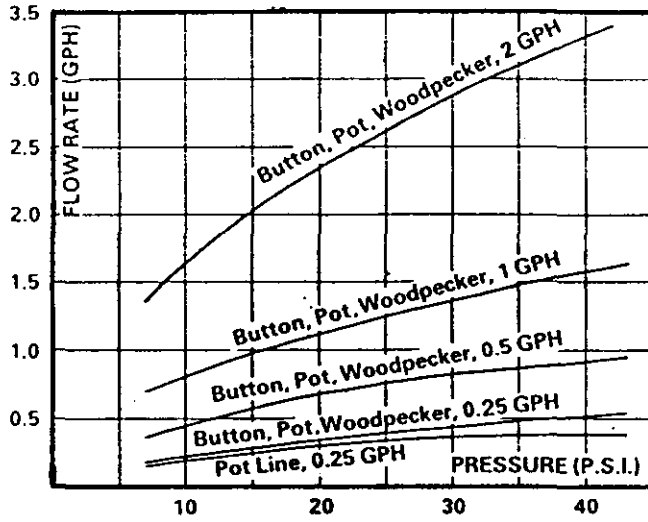
Penetes yang digunakan adalah tipe *On-line Pot Dripper* 1 Gpj (4 l/jam), dimana air yang keluar berupa tetesan dengan debit optimal sebesar 4 liter/jam pada tekanan operasi 10 m (1 atm).

Besar debit keluaran penetes dapat diatur melalui tekanan operasi pada sistem. Pada Gambar 14 menunjukkan karakteristik penetes jenis *On-line Pot Dripper* 1 Gpj berdasarkan lisensi dari pabrik.

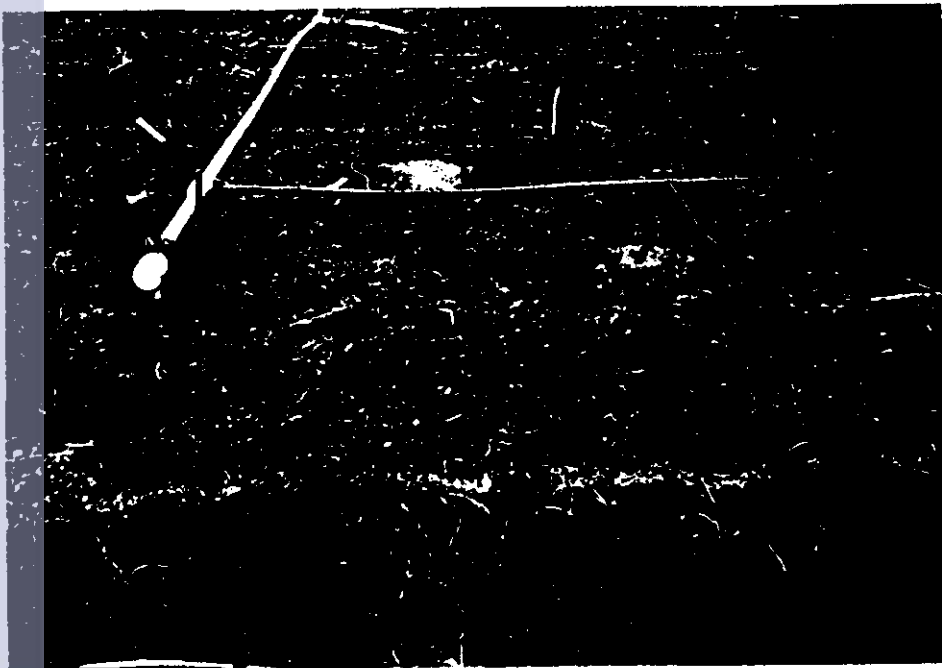
Penetes memiliki pola aliran turbulen dan nilai variasi keluaran penetes (Cv) sebesar 0.025 maka eksponen keluaran (x) antara 0.4 - 0.8 (Karmeli *et al.*, 1985).

Jenis penetes dan sambungan yang digunakan oleh penetes pada lateral dapat dilihat pada Gambar 15 dan 16.

On-line Drippers – Flow Rate vs. Pressure





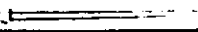


Gambar 14. Grafik hubungan antara debit keluaran (Gpj) dan tekanan operasi (Psi) penetes



Gambar 15. Jenis penetes yang digunakan pada lateral rancangan sistem irigasi

Accessories for Pot and Pot Line Drippers

	Description	Catalog No.
	Nipple (.125")	11-09005
	Insert Tee (.125")	11-09055-2
	Insert Tee (.125")	11-09055-3
	Insert Tee (.125")	11-09055-4
	Stabilizer	11-07950

Gambar 16. Sambungan yang dapat digunakan oleh penetes pada lateral

Menurut Jensen (1983), penetes harus mempunyai kemampuan, antara lain:

1. Dapat digunakan dengan bermacam jumlah dan laju aliran yang beragam serta perubahan laju aliran yang kecil (± 1 liter/jam),
2. Laju aliran bertoleransi tinggi terhadap perubahan tekanan dan tidak terjadinya pengembunan,
3. Laju aliran tetap dan dihasilkan dalam jangka waktu yang lama,
4. Laju aliran tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu,
5. Memiliki umur pemakaian yang lama.

Lebih lanjut Jensen (1983) menjelaskan bahwa pemilihan penetes berdasarkan kemampuan dan kesesuaiannya dengan jaringan pipa dan sistem penyaringan (filtrasi),

biasanya terbuat dari PVC, PE, ABS atau keramik liat berporous, tembaga dan kuningan.

2. Lateral

Pemilihan bahan dan material saluran lateral berdasarkan biaya ekonomi, sebab membutuhkan jaringan pipa yang banyak persatuan lahan.

Desain lateral menyangkut pemilihan ukuran pipa dengan panjang alir yang ditentukan agar mampu mengalirkan air dalam jumlah yang dibutuhkan tanaman dengan besaran keseragaman yang diijinkan (Jensen, 1983).

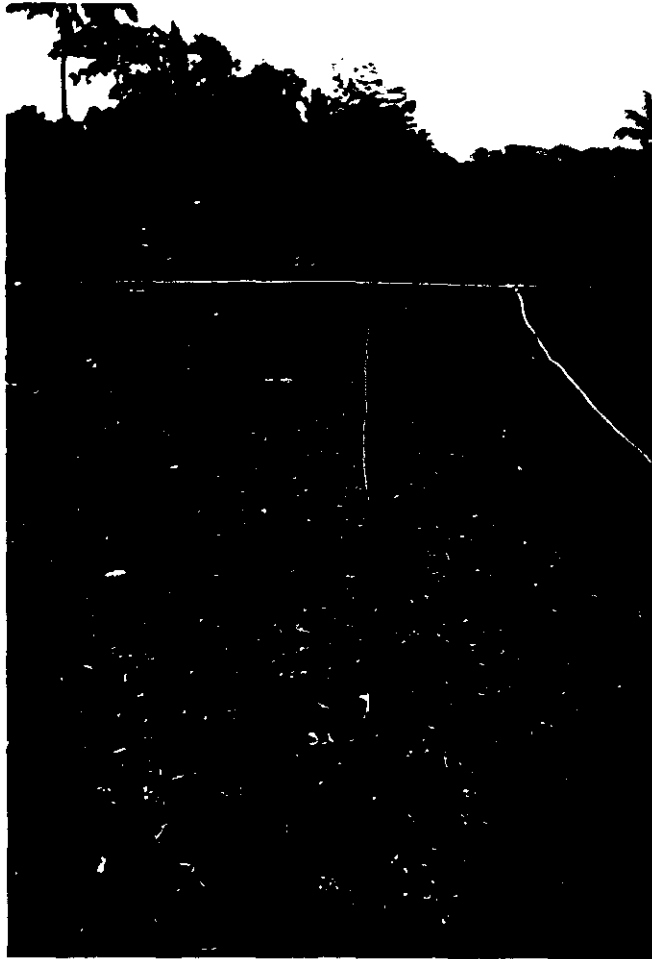
Lebih lanjut dikatakan ukuran pipa yang ekonomis berdiameter kurang dari 25 mm, dan pemilihan pipa *Polyethylene* (PE) untuk saluran lateral karena memiliki biaya inisial yang lebih rendah daripada pipa PVC.

Data desain lateral yang dibutuhkan adalah kemiringan lahan, laju aliran penetes yang digunakan, jumlah penetes tiap tanaman, jarak antar tanaman dan keseragaman aliran yang diijinkan.

Penentuan jumlah dan jarak saluran lateral dipengaruhi keadaan penanaman, setiap lajur memerlukan satu lateral, namun untuk tanaman hortikultura tertentu, dua lajur tanaman dapat dipenuhi oleh satu lateral.

Bahan untuk saluran digunakan pipa plastik *Polyethylene* (PE) diameter 8 - 20 mm, lazimnya berdiameter 14 mm. Pipa PE tipe C terutama jenis kompresi dan sambungan berkait, dipergunakan karena tahan pecah akibat

tekanan. Bentuk lateral pada rancangan dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Lateral pada rancangan sistem irigasi tetes

Sambungan lateral dengan saluran manipol digunakan sambungan berkait seperti pada penetes terhadap lateral.

3. Manipol (saluran pembagi)

Pada manipol digunakan pipa PE padat atau *Polivinyllchloride* (PVC), dimana bahan ini mencegah terjadinya penyumbatan pada pipa penetes akibat karat.

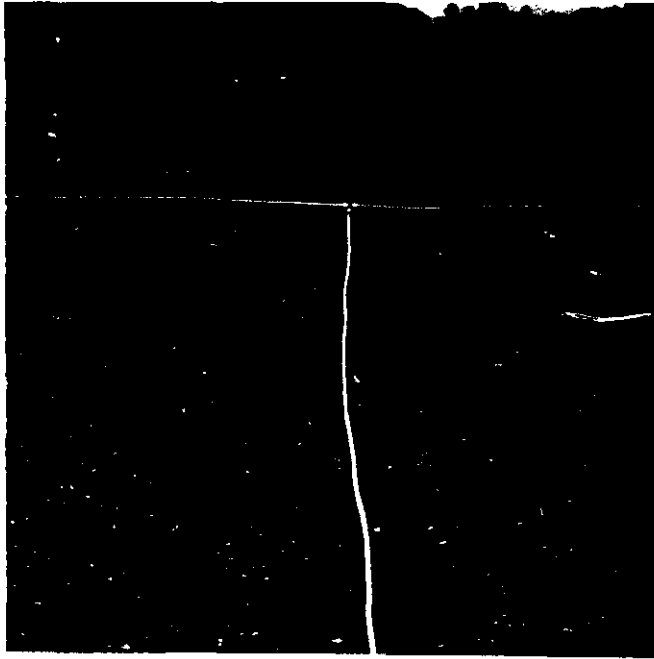
Desain manipol tergantung dari lokasi aliran untuk pengaturan tekanan, secara normal pengaturan tekanan dan aliran berlokasi pada bagian masukan dari manipol. Kehilangan energi saluran pembagi berkaitan dengan panjang saluran dan tidak boleh melewati ambang batas yang diijinkan tanpa menurunkan keseragaman aliran.

Dalam rancangan sistem digunakan pipa PVC berdiameter 1 inci dengan jarak antar bedengan 2 meter dan jumlah lajur saluran lateral sebanyak 4. Pada Rancangan 1 manipol terletak ditengah lateral sedangkan pada rancangan 2 manipol terletak pada bagian masukan lateral seperti yang terlihat pada gambar 18 dan 19.

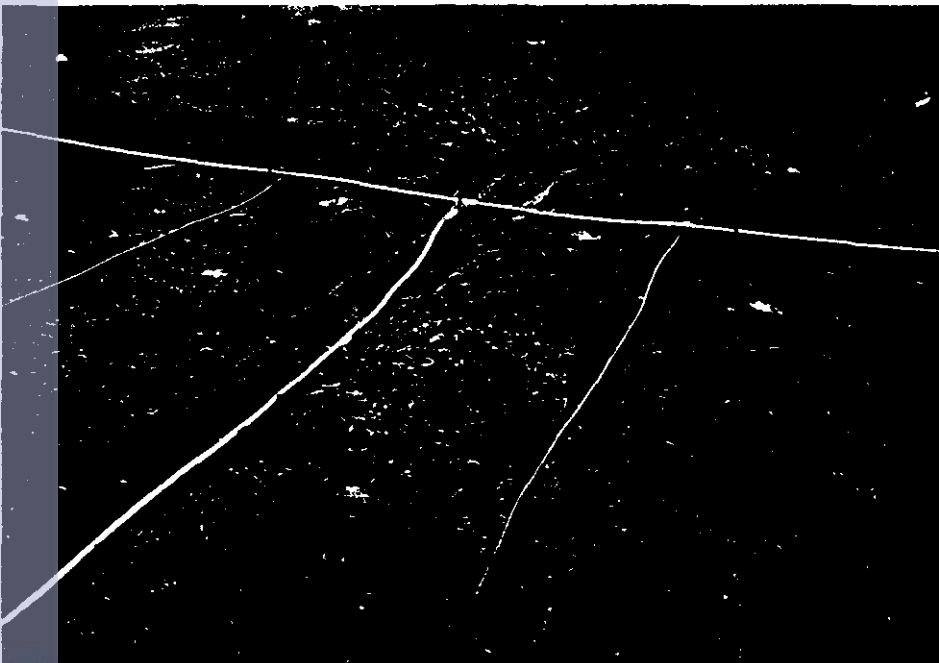
4. Saluran Utama

Saluran utama harus memiliki katup pengeluaran yang berguna untuk membilas endapan secara periodik. Dalam saluran biasanya digunakan PVC atau paduan semen-asbes.

Pengontrol atau pengatur aliran dan tekanan diperlukan pada bagian masukan saluran pembagi, kehilangan energi pada saluran utama tidak mengakibatkan sistem menjadi tidak seragam dan ukuran pipa saluran utama tergantung perhitungan ekonomis yang membandingkan antara biaya tenaga dan biaya perpipaan. Ukuran pipa utama dipilih dengan menurunkan jumlah biaya kapital dan biaya tenaga selama umur penggunaan pipa (Wu, 1975 di dalam Jensen, 1983).



Gambar 18. Penataan saluran utama dan manifold pada sistem irigasi tetes (Rancangan 1)



Gambar 19. Penataan saluran utama dan manifold pada sistem irigasi tetes (Rancangan 2)

Saluran utama pada desain sistem irigasi ini digunakan pipa plastik elastis dinding ganda berdiameter 13 mm sehingga memudahkan pemindahan dan penyimpanan sistem bila tidak dipergunakan. Panjang saluran sebesar 33.5 meter dihitung dari bagian masukan manipol terhadap pompa (sumber air sistem).

Kehilangan energi akibat gesekan dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan empiris Hazen-Williams (persamaan 10) yang dapat pula digunakan untuk mencari koefisien kekasaran pipa apabila telah diketahui kehilangan tekanan total dan kehilangan akibat sambungan, belokan dan penyusutan tiba-tiba.

5. Pompa Air

Tenaga yang dibutuhkan dalam pemompaan air irigasi merupakan kebutuhan energi yang diperlukan untuk mengangkat air dari sumber dan jumlah air yang diangkat dalam satuan waktu, dinyatakan dalam satuan tenaga kerja (Horse Power), dengan persamaan:

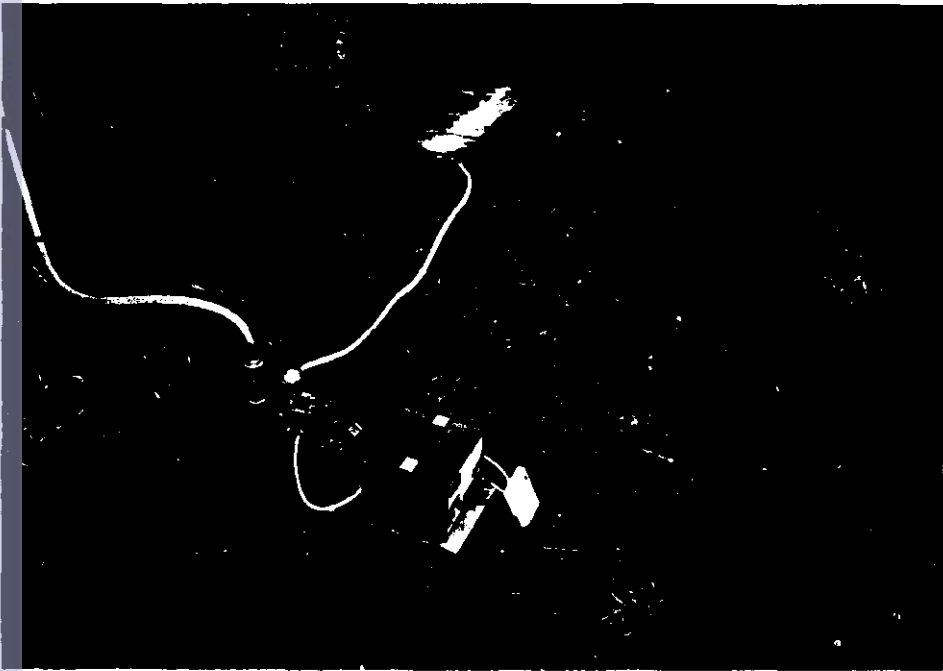
$$wHp = \sigma Qh/76 \dots\dots\dots (22)$$

dimana :

- w Hp = Horse power (hp)
- σ = Specific Gravity dari fluida
- Q = debit keluaran (l/s)
- h = kenaikan vertikal (m)

Penggunaan tenaga dalam sistem irigasi tetes digunakan motor listrik "Aqua 125 A" tipe sentrifugal dengan tegangan 220 volt, 2 fasa dan 125 ampere. Daya optimum

pompa pada 220 volt sebesar 308 watt (0.4149 Hp). Pada Gambar 20 menunjukkan pompa air yang digunakan dan kedudukannya dengan sumber air sistem.



Gambar 20. Pompa air yang digunakan dan kedudukannya dengan sumber air sistem dalam rancangan sistem irigasi tetes

Keuntungan pompa sentrifugal, poros horisontal antara lain : efisien, konstruksi sederhana relatif jarang mengalami kerusakan, biayanya rendah, mudah dipasang, sedangkan kerugian yang utama adalah fungsi isap menurun berdasarkan elevasi dari permukaan air laut, sebesar 6 hingga kurang dari 4.5 meter pada ketinggian 0 - 1500 m dari permukaan air laut (dpl), serta diperlukannya pengisian awal ruang pompa dari udara (priming) sehingga di-

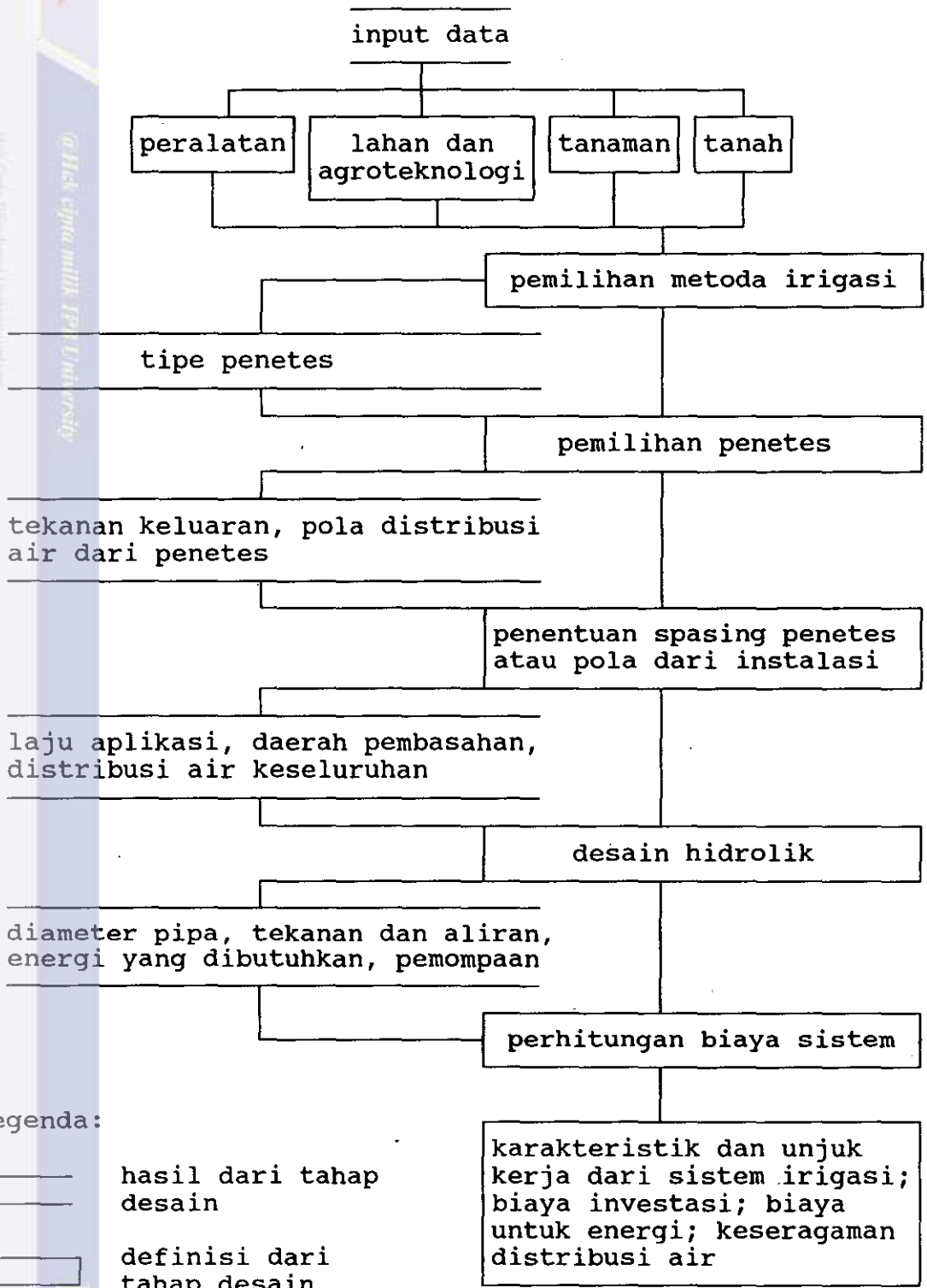
perlu perlengkapan tambahan, antara lain : tangki penyimpanan, pengisi mula gas buang, pengisi mula manipol dan pengisi hampa kering (Hansen, 1979).

B. RANCANGAN STRUKTURAL

Dalam rancangan sistem irigasi tetes sederhana terdiri atas bagian jaringan sistem: Utama, Manipol, Lateral, serta bagian pengaplikasian air : Pompa air listrik dan penetes.

Merancang sistem irigasi tetes bukan hanya memperhatikan aspek kebutuhan air dan hidrolis sistem namun dipengaruhi pula oleh aspek-aspek non teknis lainnya. Prosedur dalam merealisasi sistem irigasi tetes dapat dilihat pada Gambar 21 yang menunjukkan tahapan analisa perancangan sistem (Karmeli et al., 1985).

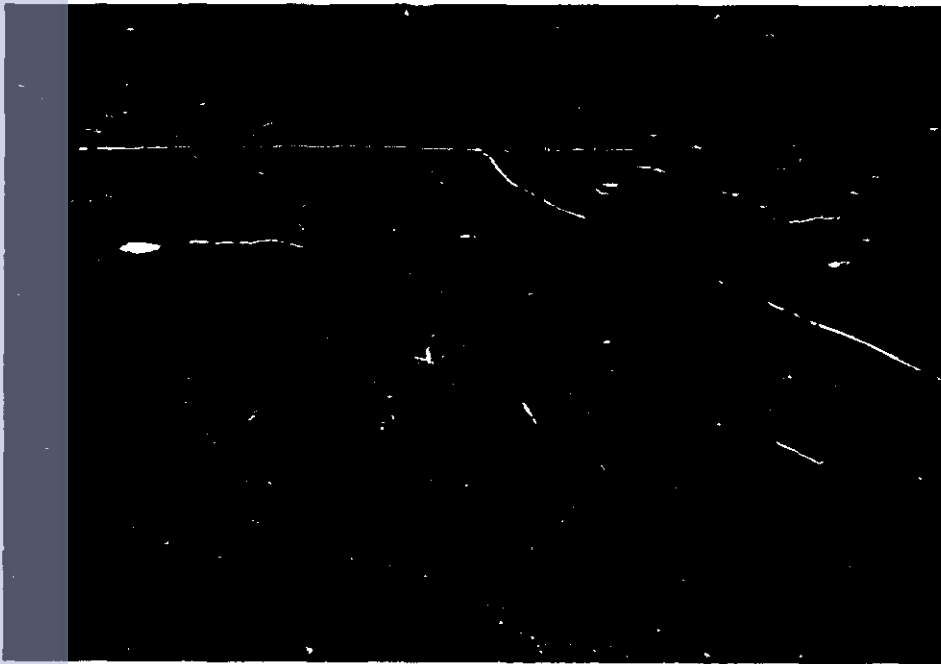
Pengaturan lateral diarahkan untuk tanaman hortikultura bernilai ekonomis tinggi, misalnya semangka, melon, yang memiliki kerentanan yang tinggi terhadap kekurangan air sehingga jarak tanam (menunjukkan spasing penetes) sebesar 0.6 meter dengan cara penanaman bujur sangkar agar lahan yang digunakan optimal. Satu lateral meliputi dua lajur tanaman dalam satu bedengan, dengan jumlah tanaman tiap bedengan 20 tanaman dan tiap tanaman dilengkapi satu penetes (Setiadi, 1990).



Gambar 21. Prosedur umum untuk mendesain sistem irigasi tetes (Karmeli et al., 1985)

Penetes yang digunakan tipe *On-line Pot Dripper* dengan debit optimum 4 l/jam. Saluran manipol digunakan untuk membagi aliran menjadi 4 dan 8 lateral.

Rancangan sistem menggunakan 2 macam kedudukan lateral yaitu : Rancangan 1 kedudukan manipol ditengah-tengah lateral dan Rancangan 2 dengan menggunakan manipol pada bagian masukan lateral. Dari hasil perhitungan rancangan menurut prosedur perencanaan sistem maka didesain sistem irigasi pada lahan pertanian seperti yang terlihat pada Gambar 22 dan 23.



Gambar 22. Rancangan sistem irigasi pada lahan pertanian (Rancangan 1)



Gambar 23. Rancangan sistem irigasi pada lahan pertanian (Rancangan 2)

C. PERHITUNGAN HIDROLIS RANCANGAN SISTEM

Lokasi lahan : Desa Cikarawang, Darmaga - Bogor.

Data lahan :

- Plot sistem berukuran 8 m x 15 m
- Lebar dan panjang lajur : 2 m x 13 m
- Lebar strip (sal. drainase) : 0.5 m
- Tekstur tanah : liat halus

Data sistem :

- Penetes : *On-line Pot Dripper*
(kap. 4 l/jam pada 15.7123 Psi = 11.01 m)
- Aliran penetes turbulen ($x = 0.4615$)

- Spasing penetes : 0.6 m
- Spasing lateral : 2 m
- Panjang lateral max. : 13 m
- Panjang total manipol : 8 m (2 x 4 m)
- Kehilangan head tekan pada sistem max. 20% = 2.202 meter
(Karmeli *et al.*, 1985)

1. Perhitungan pendahuluan

- 1.1. Laju aplikasi penetes = $4 / (0.6 \times 2)$
= 3 1/3 mm/jam
- 1.2. Selang irigasi = $9.53 / 3 \frac{1}{3}$
= 2.859 jam (± 3 jam)

Kesimpulan :

Keseluruhan lahan dapat langsung diairi secara bersamaan selama 3 jam, mengingat lahan tidak terlalu luas sehingga debit total tidak terlampau tinggi.

2. Perhitungan hidrolis sistem

2.1. Rancangan 1

a. Lateral

$$n = 6.5 / 0.6 = 10 \text{ penetes; } l = 6.5 \text{ meter lateral;}$$

$$F_{10} = 0.384 \text{ (Tabel 1);}$$

$$Q_u = 10 * (4/1000) = 0.04 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Pipa PE 13 mm : } J = 3 \text{ } ^\circ/\text{oo (literatur Wingfield)}$$

$$\text{Kehilangan head minor penetes} = 28\% \text{ (Tabel 2)}$$

$$H_f = 1.28 * (3/1000) * 6.5 * 0.384$$

$$= 9.58 \cdot 10^{-3} \text{ m } (\pm 0.01 \text{ m}) \lll 2.202 \text{ m}$$

b. Manipol

$$N = (4/2) * 2 = 4 \text{ outlet}; l = 4 \text{ m manipol}$$

$$F_2 = 0.4256 \text{ (Tabel 1);}$$

$$Q_u = 4 * 0.04 = 0.16 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Kehilangan head minor} = 20\%$$

$$H_f = 0.628 (4) (25)^{-4.865} (100 \quad 160/150)^{1.852}$$

$$= 0.00226 \text{ m } (\pm 0.2 \text{ cm}) \lll 2.202 \text{ m}$$

(kehilangan tekanan pada manipol diabaikan)

c. Saluran Utama

$$\text{Pipa elastis berdinding ganda } (\phi 13) = 33.5 \text{ m};$$

$$\text{Koefisien kekasaran pipa } (C) = 174.3$$

$$Q_u = 2 * (0.16) = 0.32 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$H_f = 0.628 (33.5) (13)^{-4.865} (100 \quad 320/174.3)^{1.852}$$

$$= 1.2523 \text{ m } (\pm 1.25 \text{ meter})$$

Hasil perhitungan akhir tekanan operasi:

1. Lateral

$$h_{i1} = 11.02 + 3/4 (0.02) = 11.03 \text{ m}$$

$$h_{o1} = 11.01 - 1/4 (0.02) = 11.01 \text{ m}$$

2. Manipol

$$h_{i1} = 11.03 + 3/4 (0) = 11.03 \text{ m}$$

$$h_{i2} = 11.03 - 1/4 (0) = 11.03 \text{ m}$$

$$h_{o2} = (11.03)/(11.03) \times 11.01 = 11.01 \text{ m}$$

maka :

$$h_{i1} - h_{o2} = 11.03 - 11.01 = 0.02 \text{ m } \lll 2.202 \text{ m}$$



3. Saluran Utama

Kehilangan head tekan (h_f) = 1.25 meter, maka :

$$\begin{aligned}\text{Tekanan pompa yang dibutuhkan} &= 1.25 + 11.03 \\ &= 12.28 \text{ meter}\end{aligned}$$

2.2. Rancangan 2

a. Lateral

$$n = 13/0.6 = 20 \text{ penetes; } l = 13 \text{ meter lateral;}$$

$$F_{20} = 0.373 \text{ (Tabel 1);}$$

$$Q_u = 20 * (4/1000) = 0.08 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Pipa PE 13 mm : $J = 3 \text{ }^\circ/\text{oo}$ (literatur Wingfield)

$$\begin{aligned}\text{Kehilangan head minor sepanjang penetes} &= 27.75\% \\ &= \pm 28 \% \text{ (Tabel 2)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_f &= 1.28 * (3/1000) * 13 * 0.373 \\ &= 0.0186 \text{ m } (\pm 0.02 \text{ m}) \lll 2.202 \text{ m}\end{aligned}$$

b. Manipol

$$N = (4/2) = 2 \text{ outlet; } l = 4 \text{ m manipol;}$$

$$F_2 = 0.4256 \text{ (Tabel 1);}$$

$$Q_u = 2 * (0.08) = 0.16 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned}H_f &= 0.628 (4) (25)^{-4.865} (100 \ 160/150)^{1.852} \\ &= 0.00226 \text{ m } (= \pm 0.2 \text{ cm}) \lll 2.202 \text{ m}\end{aligned}$$

(kehilangan tekanan pada manipol diabaikan)

c. Saluran Utama

Pipa elastis berdinding ganda (ϕ 13) = 33.5 m;

$$\text{Koefisien kekasaran (C)} = 174.3$$



$$Q_u = 2 * (0.16) = 0.32 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned} H_f &= 0.628 (33.5) (13)^{-4.865} (100 \ 320/174.3)^{1.852} \\ &= 1.2523 \text{ m } (\pm 1.25 \text{ meter}) \end{aligned}$$

Hasil akhir perhitungan tekanan operasi

1. Lateral

$$h_{i1} = 11.01 + 3/4 (0.02) = 11.025 \text{ m}$$

$$h_{i1} = 11.01 - 1/4 (0.02) = 11.005 \text{ m}$$

b. Manipol

$$h_{i1} = 11.03 + 3/4 (0) = 11.03 \text{ m}$$

$$h_{i2} = 11.03 - 1/4 (0) = 11.03 \text{ m}$$

$$h_{o2} = (11.03)/(11.03) * 11.01 = 11.01 \text{ m}$$

maka :

$$h_{i1} - h_{o2} = 11.03 - 11.01 = 0.02 \text{ m} < 2.202 \text{ m}$$

c. Saluran Utama

Kehilangan head tekan (H_f) = 1.25 meter, maka :

$$\begin{aligned} \text{Tekanan pompa yang dibutuhkan} &= 1.25 + 11.03 \\ &= 12.28 \text{ meter} \end{aligned}$$

Keterangan :

- h : tinggi head tekan (m)
- i : bagian masukan (*inlet*)
- o : bagian keluaran (*outlet*)
- n : saluran ke-n ($n = 1,2$)



IV. BAHAN DAN METODA

A. BAHAN

Dalam perancangan dan pengujian kinerja sistem digunakan 2 komponen yaitu komponen fisik, berupa peralatan irigasi dan komponen alami yaitu lahan percobaan.

Komponen teknis yang digunakan berupa :

1. Pipa elastis berdinding ganda (ϕ 13 mm)
2. Pipa Polyvinyl chlorida (PVC) (ϕ 1")
3. Pipa Polyethylene (PE) tipe C (ϕ 13 mm)
4. Pipa Polyethylene (PE) tipe C (ϕ 5 mm)
5. Penetes tipe *On-line Pot Dripper* dan stabilizer
6. Nipple 5 mm
7. *Take off* (TO 5612)
8. *Grommet* (GR56)
9. *Sealing sleeve* (SS 12)
10. *Clips tube* (CT 15)
11. PVC sock 3/4" - 1/2"
12. PVC Tee 1" - 1"
13. PVC sock 1"
14. PVC dop 1"
15. Nipple dan Clip tembaga



B. METODA

Pengamatan dilakukan dalam dua tahap, yang meliputi :

1. Pengamatan Pendahuluan

a. Pengamatan Kondisi Fisik Lahan

Pengamatan yang dilakukan terutama menyangkut tekstur tanah, *Bulk density*, tegangan matriks tanah (kurva pF), dan laju penyerapan air (infiltrasi).

Kalibrasi *gypsum block* dilakukan dengan cara mencari hubungan kadar air tanah dan kuat arus yang diterima oleh multimeter. Kalibrasi dilakukan sebagai persiapan awal peralatan pendukung pengamatan lapang.

b. Pengujian Koefisien Kekasaran Pipa Elastis Berdinding Ganda

Penurunan tekanan akibat gesekan dapat dihitung dari selisih tekanan awal dan akhir saluran utama dengan menggunakan *Pressure gauge* dan menerapkannya pada persamaan (10), sehingga akan diketemukan koefisien kekasaran pipa menurut Hazen-Williams.

c. Pengujian kinerja penetes

Kinerja penetes tipe *On-line Pot Dripper* diuji berdasarkan hubungan antara debit keluaran dan tekanan operasi penetes, dengan menggunakan persamaan (2).

Pengukuran tekanan operasi penetes dilakukan pada bagian akhir lateral menggunakan *Pressure gauge*,

sedangkan debit keluaran penetes menggunakan gelas ukur. Dalam pengamatan lateral dihubungkan langsung dengan pompa air.

Pengujian dilakukan sebanyak tujuh tingkat tekanan operasi sehingga akan menghasilkan tujuh tingkat debit keluaran penetes.

2. Pengamatan Lapang

a. Keseragaman Aliran Penetes Pada Sistem

Debit keluaran penetes diukur pada setiap lateral sehingga menunjukkan variasi sepanjang saluran, dan untuk menentukan nilai keseragaman debit keluaran dapat digunakan persamaan keseragaman dari Christian-sen (UCC , persamaan 3), keseragaman emisi (EU , persamaan 4) dan variasi keluaran (q_{var} , persamaan 5).

Jumlah titik pengamatan penetes sebanyak 40 sampel, dan diamati berdasarkan tiga tingkat tekanan operasi pompa serta dua macam rangkaian. Rangkaian 1 menunjukkan manipol diletakkan ditengah-tengah lateral sedangkan rangkaian 2 manipol terletak pada awal lateral.

b. Diameter Pembasahan (WD)

Besar daerah pembasahan yang digunakan pada sistem irigasi tetes dapat diatur dari perubahan debit aliran penetes.

Pengukuran diameter pembasahan dilakukan setelah

3 jam pengaplikasian sistem irigasi tetes, dan perubahan kadar air permukaan digunakan *gypsum block*.

c. Kedalaman Penetrasi Air Irigasi

Kedalaman aplikasi pemberian air menunjukkan volume pemberian air yang terserap atau tanah yang dipengaruhi oleh kondisi tekstur tanah dan laju infiltrasi tanah.

Pengamatan lapang terhadap kedalaman pembasahan dilakukan dengan *gypsum block* pada tiga kedalaman perakaran tanaman yaitu 15, 30 dan 45 cm.

Pengukuran dilakukan sebelum dan setelah pengaplikasian sistem irigasi, jangka waktu pengaplikasian selama 3 jam.

C. WAKTU DAN TEMPAT

Pengamatan dilakukan di beberapa tempat, antara lain : pengamatan pendahuluan meliputi kalibrasi *gypsum block*, pengukuran *Bulk Density* (Bd) dan nilai pF dilakukan di Laboratorium Fisika dan Mekanika Tanah - FATETA IPB, pengamatan lapang mengenai sistem irigasi tetes dilakukan di lahan percobaan Cikarawang, Darmaga-Bogor serta pengujian tekstur tanah di Pusat Penelitian Tanah dan Klimatologi, Jln. Ir. H. Juanda, Bogor.

Masalah khusus dilakukan selama 2 bulan dari bulan Oktober hingga November 1991.

D. PERALATAN

Peralatan yang digunakan untuk pengamatan awal dan pengujian rancangan sistem, terdiri atas :

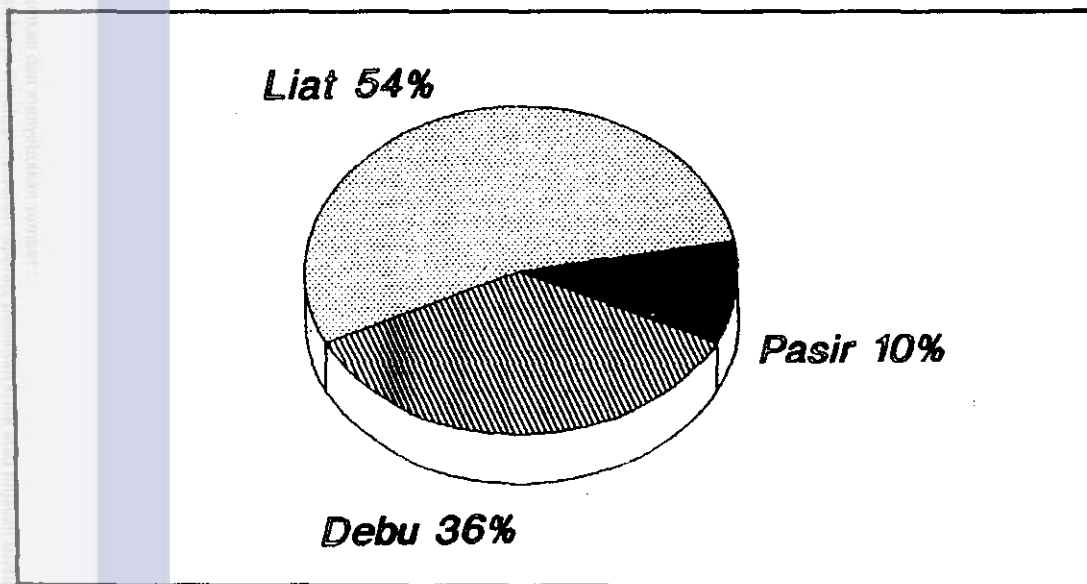
1. *Double ring infiltrometer*
2. *Ring sample*
3. Oven
4. Timbangan
5. *Pressure gauge*
6. Gelas ukur 1 liter
7. Tapemeter
8. Stopwatch
9. *Gypsum block*
10. *Multivibrator gypsum block*
11. Multimeter digital
12. Pompa air listrik 220 volt
13. Peralatan instalasi
14. Alat tulis menulis

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. KONDISI FISIK LAHAN

Tekstur tanah menurut Diagram Tekstur Tanah dari USDA (Buckman dan Brady, 1982) termasuk ke dalam struktur *liat halus* dan pada tanah permukaan relatif berbentuk butiran halus. Komposisi partikel-partikel tanah seperti yang terlihat pada Gambar 24.

Komposisi Partikel Tanah Desa Cikarawang, Darmaga-Bogor Tekstur liat halus

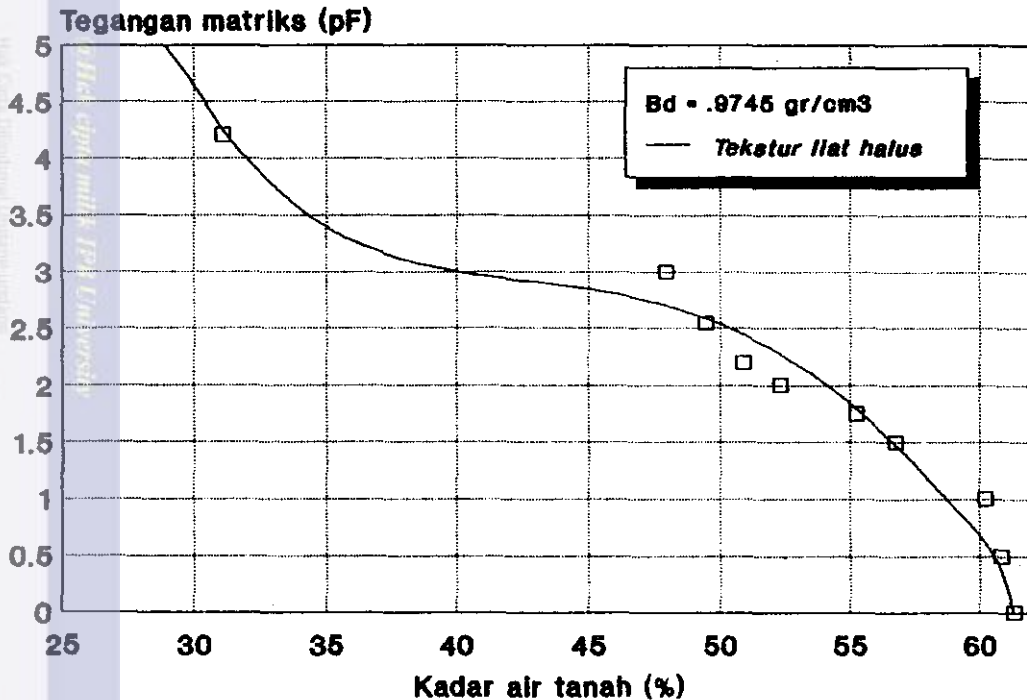


Gambar 24. Komposisi partikel-partikel tanah

Tanah tersebut memiliki nilai *Bulk Density* (Bd) rata-rata sebesar 0.9745 gr/cm^3 , dan memiliki ruang pori sebesar 64.17% (*Specific Gravity* = 2.72 gram/cm^3).

Kurva tegangan matrik (pF)

Desa Cikarawang, Darmaga-Bogor

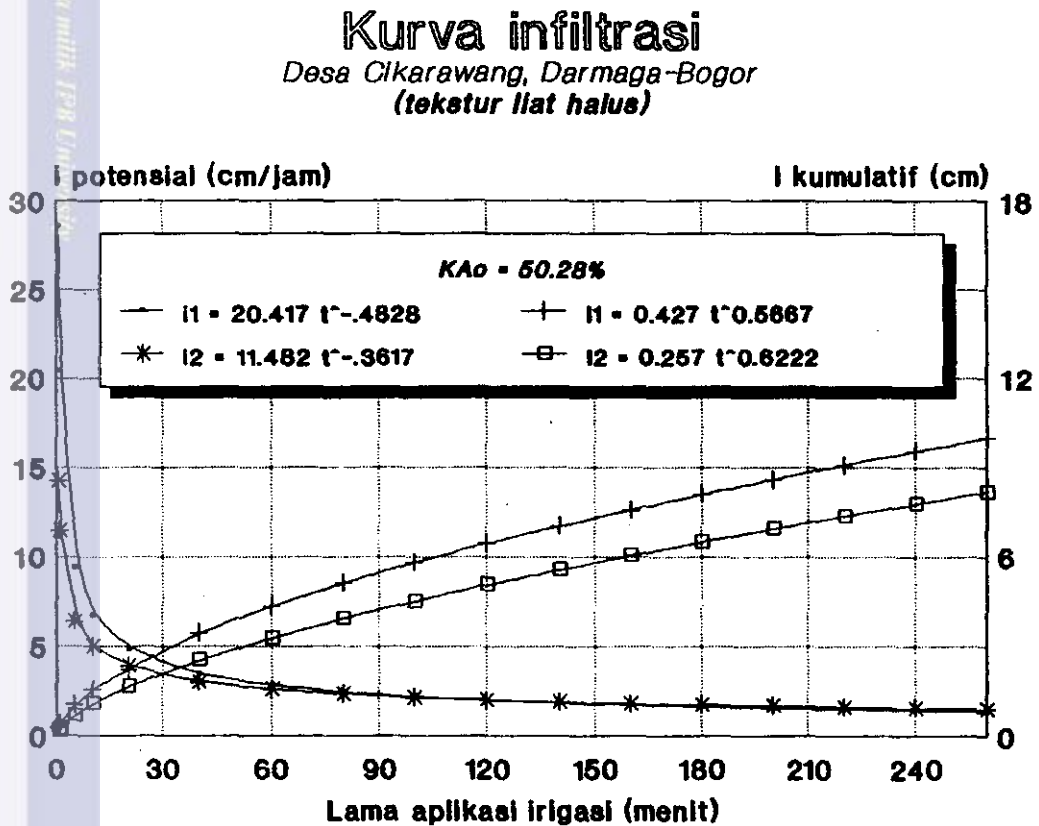


Gambar 25. Grafik hubungan antara tegangan matriks (pF) dan kadar air (%) tanah

Dari grafik hubungan antara tegangan matriks dan kadar air tanah (Gambar 25) terlihat bahwa persentase kadar air pada kapasitas lapang ($pF = 2.54$) sebesar 49.4 % dan 31.1 % pada titik layu permanen ($pF = 4.2$) pada kedalaman perakaran acuan sedalam 45 cm.

Kelembaban tanah awal sebesar 50.28% berarti kelembaban tanah telah melewati batas kapasitas lapang sehingga mudah terjadi pelumpuran dan limpasan jika laju pemberian air irigasi tidak tepat dan melebihi kapasitas tanah dalam menampung air sebesar 49.5 mm.

Penentuan laju pemberian air irigasi berdasarkan kecepatan infiltrasi tanah agar tidak terjadi aliran permukaan. Kurva kecepatan infiltrasi tanah disajikan pada Gambar 26.



Gambar 26. Kurva kecepatan infiltrasi potensial (cm/jam) dan infiltrasi kumulatif lahan (cm)

Kurva kecepatan infiltrasi tanah dihitung berdasarkan persamaan Kostiakov, dan dari perhitungan didapat kecepatan infiltrasi potensial tanah ($i_{\text{potensial}}$, cm/jam) sebesar $i_1 = 20.417 t^{-0.4828}$ dan $i_2 = 11.482 t^{-0.3617}$ serta besar infiltrasi kumulatif lahan (I , cm) sebesar $I_1 = 0.427 t^{0.5667}$

dan $I_2 = 0.257 t^{.6222}$. Debit air irigasi maksimum dengan lama pemberian air 3 jam (180 menit) harus kurang dari 1.74 cm/jam, untuk menghindari terjadinya limpasan permukaan.

B. KINERJA PENETES TIPE ON-LINE POT DRIPPER

Debit keluaran penetes tergantung pada tekanan operasi yang diberikan dan setiap penetes memiliki karakteristik keluaran yang berbeda tergantung bentuk, jenis dan ukurannya. Bentuk aliran yang terjadi pada penetes dapat dilihat dari besarnya nilai eksponen tekanan. Hasil pengamatan kinerja penetes tipe *On-line Pot Dripper* dapat dilihat pada Lampiran 2 dan Tabel 5.

Tabel 5. Kinerja penetes tipe *Pot Dripper* (l/jam)

Sampel	Tekanan (m)						
	9.11	11.21	14.02	16.12	21.72	24.52	28.03
1	3.70	4.00	4.60	4.65	5.60	5.60	5.90
2	3.85	4.00	4.60	4.20	5.50	5.80	6.20
3	3.60	4.10	4.36	5.00	5.20	5.80	5.95
4	3.80	4.10	4.60	5.15	5.60	5.80	6.25
5	3.80	4.30	3.94	4.75	5.60	6.00	6.20
Rata ²	3.75	4.10	4.42	4.75	5.50	5.80	6.10

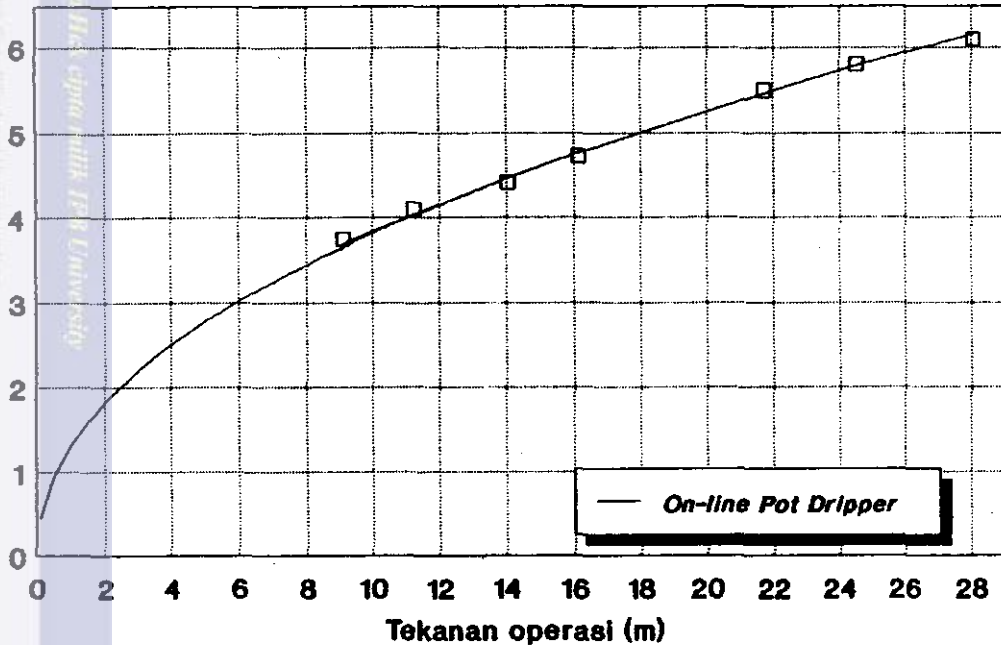
Dengan memasukannya ke dalam persamaan (2) maka dapat diketahui grafik hubungan antara debit keluaran penetes dan tekanan operasi dari penetes tipe *On-line Pot Dripper*, seperti yang terlihat pada Gambar 27.

Kinerja penetes

$$q_e = 1.3222 H_e^{0.4615}$$

$$(r = 0.9869)$$

Debit keluaran (l/jam)



Gambar 27. Grafik hubungan antara debit keluaran (l/jam) dan tekanan operasi penetes (m)

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa persamaan debit keluaran penetes tipe *On-line Pot Dripper* adalah sebagai berikut : $q_e = 1.3222 H_e^{0.4615}$ ($r = 0.9869$).

Dari persamaan debit keluaran penetes dapat disimpulkan bahwa dengan nilai eksponen tekanan (x) sebesar 0.4615 menunjukkan bentuk aliran pada penetes adalah turbulen. Debit keluaran (q_e) akan meningkat dengan bertambahnya tekanan operasi (H_e). Pada penetes tipe *On-Line Pot Dripper* tekanan operasi penetes diatur secara manual dan dihitung berdasarkan kebutuhan tekanan dan debit sistem.

Penetes memiliki debit keluaran optimal sebesar 4 l/jam pada tekanan operasi 11.01 meter maka tidak jauh berbeda dengan desain manual dari pabrik pembuat yang menentukan pada debit 4 l/jam maka tekanan operasi penetes sebesar 1 atm atau 10.3 meter.

Perbedaan debit keluaran penetes terjadi akibat tidak digunakannya filter pada sistem sehingga air tidak bersih, kehilangan head tekan pada sambungan penetes (*nipple*) dan pipa lateral serta sambungan pada penetes akibat penginstalasian yang kurang baik.

C. KESERAGAMAN ALIRAN PENETES DALAM SISTEM

Pengukuran debit keluaran penetes pada sistem dilakukan selama pengaplikasian air melalui sistem. Jumlah titik pengamatan yang diambil secara acak sebanyak 40 sampel dari jaringan irigasi rancangan.

Hasil pengamatan debit aliran yang terjadi pada setiap jenis rancangan dapat dilihat pada Lampiran 5 - 10. Data debit keluaran yang dihasilkan dimasukkan ke dalam persamaan (3) sehingga menghasilkan nilai keseragaman debit aliran penetes seperti pada Tabel 6.

Bentuk aliran air di sepanjang lateral pada tiga tingkat tekanan operasi pompa merupakan bentuk aliran laminar ($Re < 2.000$) dengan nilai Re antara 717.15 dan 998.18.

Tabel 6. Debit keluaran rata-rata penetes dan koefisien keseragaman Christiansen (UCC) penetes pada tiga tingkat tekanan operasi

Tekanan operasi pompa (m)	no.	Rancangan 1		Rancangan 2	
		Debit (l/jam)	UCC (%)	Debit (l/jam)	UCC (%)
14.02	1	2.9650	88.90	2.8825	88.83
	2	3.1700	89.46	2.8625	90.11
12.61	1	2.8400	90.23	2.8625	86.03
	2	2.9050	90.71	2.8550	87.11
7.01	1	2.2825	80.50	2.2775	88.04
	2	2.3350	86.27	2.2825	87.56

Debit keluaran penetes pada rancangan dengan waktu aplikasi selama 3 jam antara 2 dan 2.64 mm/jam sehingga besarnya jauh lebih kecil daripada kecepatan infiltrasi tanah (1.74 cm/jam), sehingga tidak terjadi limpasan.

Koefisien keseragaman debit keluaran penetes pada tiga tingkat tekanan operasi pada Rancangan 1 antara 80.5% - 90.7% sedangkan pada Rancangan 2 antara 86% - 90.1%, yang menunjukkan kedua rancangan ini memenuhi persyaratan rancangan sistem irigasi tetes yang berkisar antara 75 - 95%.

Dari data debit keluaran penetes dalam sistem dapat diketahui pula nilai variasi debit keluaran dan koefisien keseragaman emisi, dengan nilai $C_v = 0.025$ yang merupakan konstanta untuk menunjukan kinerja rancangan sistem irigasi tetes, seperti yang terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Variasi debit keluaran dan koefisien keseragaman emisi (EU) penetes dan pada tiga tingkat tekanan operasi

Tekanan operasi pompa (m)	No	Rancangan 1		Rancangan 2	
		q_{var}	EU (%)	q_{var}	EU (%)
14.02	1	0.4872	65.31	0.4054	73.90
	2	0.3684	73.31	0.4167	71.03
12.61	1	0.4286	81.82	0.5000	60.89
	2	0.5455	66.66	0.5000	61.05
7.01	1	0.3214	80.60	0.4667	68.02
	2	0.4000	74.64	0.3667	80.60

Tabel 7 menunjukkan Rancangan 1 memiliki nilai koefisien keseragaman emisi dan variasi debit keluaran penetes sebesar 65.3% - 81.8% dan 0.32 - 0.55, sedangkan pada Rancangan 2 sebesar 60.9% - 80.6% dan 0.37 - 0.50.

Perbedaan hasil perhitungan nilai keseragaman debit keluaran dalam tingkat tekanan operasi yang berbeda terjadi akibat penyumbatan kumulatif (*clogging*) yang terjadi selama pengaplikasian berlangsung.

Akibat penyumbatan pada saluran terutama lateral terlihat jelas pada Rancangan 1 yang memiliki selang debit keluaran (δq_{var}) yang lebih lebar, sebesar 23% daripada Rancangan 2 ($q_{var} = 13\%$).

Secara umum nilai keseragaman debit keluaran penetes kedua rancangan tidak jauh berbeda, hal ini terjadi akibat

skala pengamatan lahan yang relatif kecil (12.5 m x 16.5 m) sehingga variasi debit keluaran antara kedua bentuk rancangan tidak jelas perbedaannya.

D. DISTRIBUSI TEKANAN SEPANJANG SALURAN

Kehilangan head tekan akibat gesekan disaluran utama tergantung dari koefisien kekasaran pipa yang dipengaruhi oleh diameter dan bahan saluran. Pada rancangan sistem digunakan pipa elastis berdinding ganda berdiameter 13 mm dan panjang saluran utama adalah 33.5 meter.

Pengukuran kehilangan head tekan pada tiga tingkat tekanan operasi pompa, perbedaan tekanan awal - akhir saluran utama menunjukkan kehilangan head tekan akibat gesekan, dengan memasukkan hasil pengamatan ke dalam persamaan (10) maka akan diketahui koefisien kekasaran pipa. Hasil pengamatan tekanan dan koefisien kekasaran saluran utama dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 menunjukkan bahwa pipa elastis berdinding ganda yang digunakan sebagai saluran utama pada rancangan memiliki nilai koefisien kekasaran sebesar 174.3, berarti bagian dalam pipa relatif licin sehingga kehilangan head tekan yang terjadi relatif kecil.

Bentuk aliran selama pengamatan koefisien kekasaran pipa adalah turbulen sebagian ($4.000 < Re \leq 10.000$) dan turbulen total ($Re > 10.000$) dengan nilai Re antara 6.669 dan 18.893.

Tabel 8. Koefisien kekasaran pipa elastis berdinding ganda*)

no	Ppompa (m)	Putama (m)	δtekanan (m)	Debit aliran (l/jam)	C
1	7.007	6.306	0.7010	211.7647	167.48
2	7.708	6.306	1.4020	276.9231	150.63
3	8.408	7.007	1.4020	327.2727	178.06
4	7.708	7.007	0.7010	276.9231	219.01
5	11.211	9.109	2.1020	327.2727	143.05
6	11.912	9.810	2.1020	360.	157.36
7	11.912	10.510	1.4020	360.	195.82
8	12.612	9.810	2.8030	450	168.39
9	14.715	11.211	3.5040	514.2857	170.61
10	13.313	10.510	2.8030	450	168.39
11	14.014	9.810	4.2040	600	180.38
12	14.715	11.912	2.8030	514.2857	192.44
Koefisien kekasaran pipa rata-rata (C_{rata2})					174.30

*) dihitung berdasarkan persamaan Hazen-Williams (persamaan 10)

Variasi tekanan operasi sepanjang saluran rancangan diakibatkan oleh kehilangan head tekan yang terjadi akibat gesekan, penyusutan tiba-tiba, sambungan, belokan, percabangan dan penyumbatan pada saluran. Hasil pengamatan tekanan sepanjang saluran dapat dilihat pada Tabel 9.

Pengukuran distribusi tekanan pada lateral diperhitungkan berdasarkan debit keluaran penetes dan persamaan kinerja penetes yang didapatkan dari pengamatan pendahuluan sehingga diketahui tekanan operasi pada penetes.

Dari Tabel 9 diketahui bahwa tekanan operasi akan menurun dengan meningkatnya jarak dan panjang saluran.

Tabel 9. Distribusi tekanan (m) sepanjang saluran pada sistem rancangan dengan 3 tingkat tekanan operasi

	Rancangan		Distribusi tekanan (m)							
	pompa	utama	manipol			lateral				
			in	out1	out2	in1	out1	in2	out2	
1	7.36	6,31	4.90	3.85	3.85	4.34	2.73	4.69	3.01	
	11.56	9.46	7.01	6.66	6.66	7.71	3.29	7.29	5.11	
	14.01	10.86	10.16	8.41	8.75	8.75	5.11	8.27	5.11	
2	8.06	7.01	5.26	4.55	4.55	5.47	2.73	5.11	2.73	
	12.26	10.16	10.16	9.46	9.81	8.75	2.73	8.27	3.99	
	14.36	10.86	10.51	8.75	8.75	7.29	4.34	7.71	5.47	

Perubahan tekanan sepanjang saluran pada rancangan sistem akibat terjadinya penurunan gradien energi. Gradien energi dipengaruhi oleh jarak saluran terhadap sumber air (pompa), sambungan, penyusutan tiba-tiba dan penggunaan nipple yang berangkai, penyumbatan kotoran sepanjang saluran akibat tidak dipergunakannya filter.

Kehilangan head tekan akibat sambungan (minor) pada saluran dapat diperhitungkan dengan cara menentukan terlebih dahulu kehilangan head total (H_{total} , *pressure gauge*) dan penyusutan tekanan akibat gesekan (H_f , persamaan 6). Selisih antara kehilangan head total dan penyusutan akibat gesekan merupakan kehilangan akibat sambungan (H_k).

Penyusutan head tekan saluran sepanjang jaringan perpipaan sistem akibat gesekan dan sambungan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Kehilangan head tekan (m) yang terjadi pada jaringan perpipaan sistem rancangan

utama	manipol			lateral	
Hk (m)	Ht (m)	Hf (mm)	Hk (m)	Hk1 (m)	Hk2 (m)
1.051	1.752	7.25	1.744	0.841	0.561
2.102	1.682	8.52	1.673	0.701	0.701
3.153	2.172	26.19	2.146	0.701	0.701

Besar kehilangan tekanan akibat sambungan tergantung atas jumlah dan bentuk sambungan pada saluran. Sambungan yang digunakan dalam saluran adalah *Sock* 3/4"- $\frac{1}{2}$ ", *Nipple* tembaga 3/4" dan *Bushing* 3/4" pada saluran utama, *Tee* 1" dan *Bushing* 3/4" pada manipol, dan pada lateral digunakan *Take off* dan *Sealing sleeve* dari plastik.

Penyusutan tekanan operasi sepanjang saluran irigasi terutama diakibatkan oleh sambungan dan penyumbatan (*clogging*). Karena sulit untuk menentukan besarnya penyumbatan maka penurunan akibat penyumbatan diasumsikan sebagai parsial dari kehilangan head tekan akibat sambungan.

Dari Tabel 10 terlihat bahwa kehilangan tekanan akibat gesekan (H_f) pada manipol relatif kecil sekali daripada kehilangan tekanan akibat sambungan (H_k) sehingga dapat diabaikan. Kehilangan tekanan akibat gesekan pada manipol antara 7.25 dan 26.19 mm sedangkan kehilangan tekanan akibat sambungan antara 1.673 dan 2.146 m, baik pada Rancangan 1 maupun Rancangan 2.

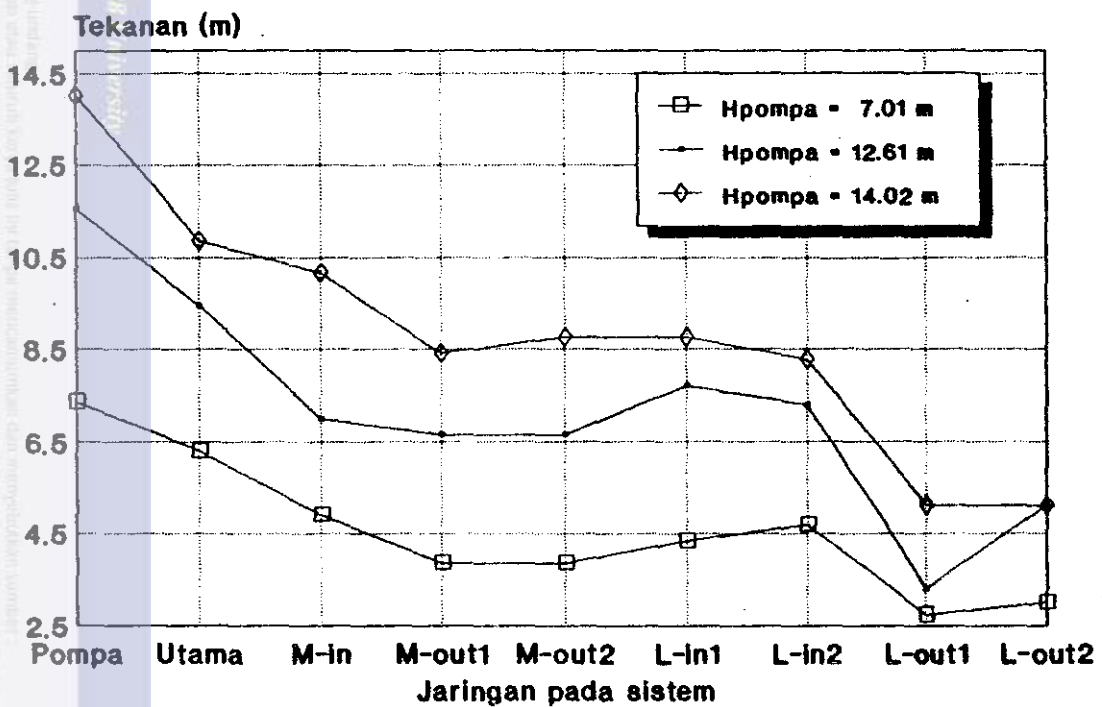
Kehilangan head tekanan yang tertinggi terjadi pada sambungan saluran utama dan manipol. Hal ini terjadi akibat penggunaan sambungan yang berangkai sehingga penurunannya bersifat kumulatif maka untuk menurunkan kehilangan tekanan yang terjadi dapat dilakukan dengan cara menggunakan perubahan diameter saluran atau penataan sambungan yang bertahap.

Pengamatan distribusi tekanan sepanjang saluran pada tiga tingkat tekanan operasi pompa yang berbeda yang ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara jaringan instalasi dan tinggi tekanan (m) seperti terlihat pada Gambar 28 dan Gambar 29.

Dari grafik distribusi tekanan sepanjang saluran pada Gambar 28 dan 29 terlihat bahwa penyusutan tekanan pada saluran utama antara 1.05 dan 3.5 m pada tiga tekanan operasi pompa, baik pada Rancangan 1 maupun Rancangan 2.

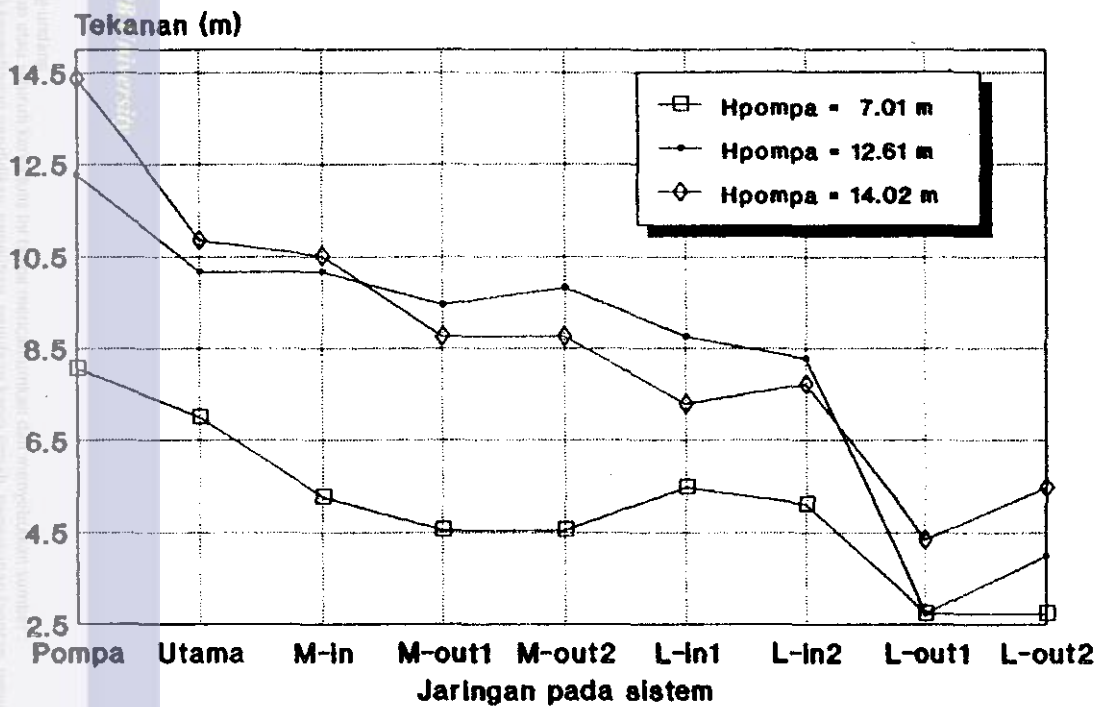
Pada Rancangan 1 terlihat bahwa pada tekanan operasi pompa sebesar 7.01 m mengalami penurunan tekanan sebesar 3.05 m pada manipol, 0.35 m pada tekanan pompa 12.61 m dan untuk tekanan pompa 14.02 m sebesar 1.75 m. Rancangan 2 menunjukkan penurunan sebesar 0.71 m pada tekanan pompa 7.01 m, sebesar 0.7 m pada tekanan 12.61 m dan 1.76 m pada tekanan 14.02 m. Terlihat bahwa tata letak lateral pada satu sisi manipol akan mempengaruhi hampir dua kali lipat terhadap kehilangan tekanan operasi sepanjang manipol.

Distribusi tekanan pada sistem Rancangan 1



Gambar 28. Distribusi tekanan sepanjang saluran irigasi tetes (Rancangan 1)

Distribusi tekanan pada sistem Rancangan 2



Gambar 29. Distribusi tekanan sepanjang saluran irigasi tetes (Rancangan 2)

Penurunan tekanan operasi pompa hingga akhir manipol pada tiga tingkat tekanan operasi pompa berkisar antara 2.8 dan 3.85 m baik pada Rancangan 1 atau Rancangan 2.

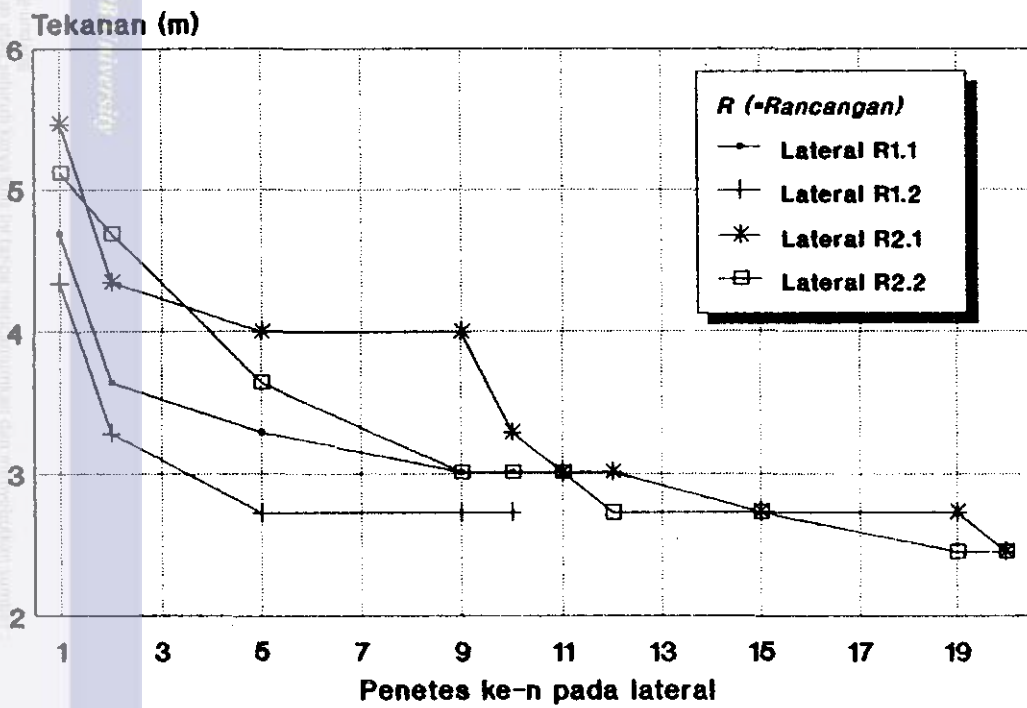
Distribusi tekanan pada lateral dipengaruhi oleh kehilangan head tekan akibat gesekan dan sambungan pada penetes serta akibat konstruksi dari penetes itu sendiri. Distribusi tekanan pada lateral dalam bentuk grafik hubungan tekanan penetes dan posisi penetes dalam lateral pada tiga tingkat tekanan operasi pompa dapat dilihat pada Gambar 30 hingga Gambar 32.

Pada Rancangan 1 terlihat bahwa tekanan operasi penetes ke-6 menurun rata-rata sebesar 1.4 m (pada tekanan pompa 7.01 m), 2.8 m (tekanan pompa 12.61 m) dan 2.1 m (tekanan pompa 14.02 m) dan pada Rancangan 2 sebesar 2.45, 2.45, dan 3.15 m pada tekanan operasi pompa 7.01, 12.61 dan 14.02 m sedangkan untuk penetes selanjutnya memiliki penurunan yang relatif kecil, yaitu 0, 0.35 - 2.1 dan 0.35 - 0.7 m pada Rancangan 1 sedangkan pada Rancangan 2 sebesar 1.4 - 1.75, 1.75 - 3.5 dan 0.35 - 0.7 m.

Variasi tekanan sepanjang lateral rancangan sistem terutama dipengaruhi oleh penyumbatan kumulatif kotoran (terutama akibat lumut yang tumbuh pada sumber air), pasir dan partikel yang lebih kecil lainnya. Penyumbatan pada salah satu penetes akan mempengaruhi tekanan operasi penetes lainnya sehingga terjadi perbedaan keseragaman debit keluaran penetes sepanjang lateral dan pada sistem.

Distribusi tekanan pada Lateral

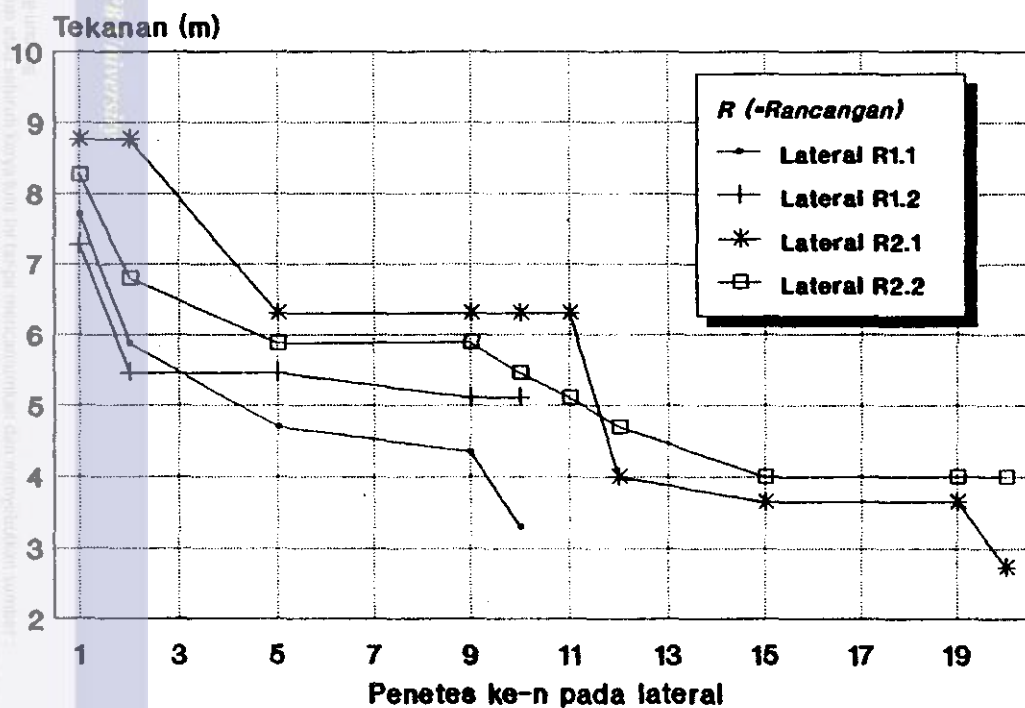
Tekanan operasi pompa 7.01 m



Gambar 30. Distribusi tekanan sepanjang lateral rancangan (tekanan operasi pompa 7.01 m)

Distribusi tekanan pada Lateral

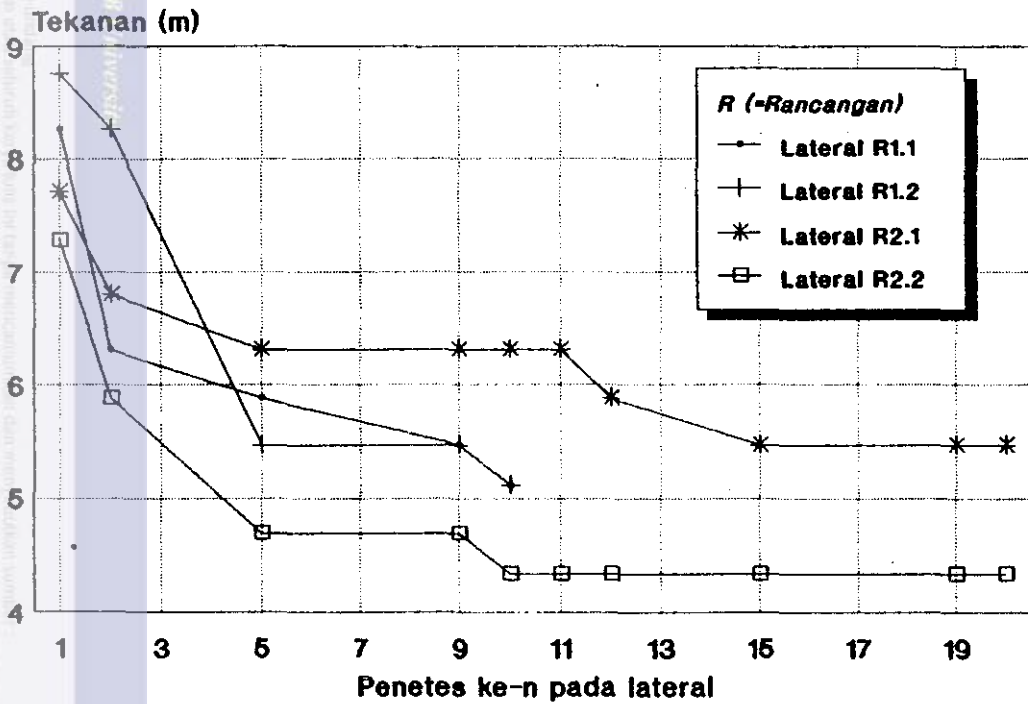
Tekanan operasi pompa 12.61 m



Gambar 31. Distribusi tekanan sepanjang lateral rancangan (tekanan operasi pompa 12.61 m)

Distribusi tekanan pada Lateral

Tekanan operasi pompa 14.02 m



Gambar 32. Distribusi tekanan sepanjang lateral rancangan (tekanan operasi pompa 14.02 m)

Dari Gambar 30 hingga Gambar 32 dapat dibuat penurunan tekanan sepanjang lateral dalam bentuk Tabel seperti yang terlihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Distribusi tekanan pada lateral rancangan sistem

Tekanan pompa (meter)	Distribusi tekanan (m) pada lateral			
	Rancangan 1		Rancangan 2	
	Lateral 1	Lateral 2	Lateral 1	Lateral 2
7.01	1.68	1.61	2.74	2.38
12.61	4.42	2.18	6.03	4.27
14.02	3.64	3.16	2.24	2.94

Keterangan :

- Lateral 1 - lateral yang dekat masukan manipol, lateral 2 - lateral yang terjauh.

Penurunan tekanan pada lateral dapat diperhitungkan dengan memasukkan debit keluaran masing-masing penetes sepanjang lateral pada persamaan debit keluaran penetes yang telah didapat dari pengamatan pendahuluan.

Pada lateral Rancangan 1 terjadi penurunan tekanan dari 4.69 ke 3.01 (lateral 1) dan 4.34 - 2.73 m (lateral 2) pada tekanan operasi pompa 7.01 m, 7.71 - 3.29 m (lateral 1) dan 7.29 - 5.11 m (lateral 2) pada tekanan 12.61 m, 8.76 - 5.11 m (lateral 1) dan 8.27 - 5.11 m (lateral 2) pada tekanan operasi pompa 14.02 m.

Pada Rancangan 2 terjadi penurunan dari 5.47 ke 2.73 m (lateral 1) dan 5.11 - 2.73 m (lateral 2) pada tekanan pompa 7.01 m, 8.76 - 2.73 m (lateral 1) dan 8.27 - 3.99 m

(lateral 2) pada tekanan pompa 12.61 m, 7.71 - 5.47 m (lateral 1) dan 7.29 - 4.34 m (lateral 2) pada tekanan pompa 14.02 m.

Dari data diatas terlihat bahwa penurunan tekanan pada lateral dengan tata letak manipol pada ujung lateral (Rancangan 2) akan lebih besar daripada manipol pada tengah-tengah lateral (Rancangan 1). Hal ini disebabkan pembagian tekanan pada Rancangan 1 lebih merata dan kehilangan tekanan akibat gesekan dan penetes relatif lebih kecil daripada Rancangan 2. Dengan lateral yang lebih pendek maka keseragaman debit aliran kan lebih baik daripada lateral panjang.

Kehilangan tekanan pada tiga tingkat tekanan operasi pompa sepanjang saluran akan mempengaruhi analisa desain sistem rancangan, dimana dianjurkan agar kehilangan tekanan pada manipol sebesar 45% dari kehilangan total yang terjadi dan pada lateral sebesar 55%.

Kehilangan tekanan pada manipol Rancangan 1 antara 0.7 dan 2.1 m (16.03% H_{total}) sedangkan pada lateral antara 6.58 dan 13.6 m (83.97% H_{total}), pada Rancangan 2 di manipol antara 1.05 dan 3.52 m (14.12% H_{total}) dan di lateral antara 10.24 dan 20.60 m (85.88% H_{total}).

Dari data diatas berarti kehilangan tekanan belum seimbang antara manipol dan lateral karena perbandingan kehilangan tekanan antara manipol dan lateral untuk kedua rancangan berkisar antara 14.12 dan 16.03% dengan 83.97 dan 85.88%.

Untuk pengembangannya maka dianjurkan. agar merubah diameter lateral dengan yang lebih besar ($\phi > 13$ mm) atau dengan menambah panjang saluran manipol. Agar perbandingan kehilangan tekanan yang terjadi sebesar 45% pada manipol dan 55% pada lateral maka manipol dapat diperpanjang hingga 14 - 17 m.

Namun dengan perubahan panjang manipol maka kinerja sistem rancangan harus dianalisa kembali karena dengan penurunan tekanan yang maksimum di akhir manipol maka akan terjadi variasi tekanan lateral (terluar) yang berbeda dengan rancangan awal (Rancangan 1 dan Rancangan 2).

E. DIAMETER PEMBASAHAN (WD)

Kelembaban tanah awal aplikasi (KA_0) adalah 50.28% dan perubahan kelembaban tanah pada kedalaman perakaran acuan (45 cm) rata-rata sebesar 0.08 %. Dengan menggunakan persamaan (21) maka didapat diameter pembasahan acuan (WD_0). Data pengamatan besarnya diameter pembasahan aktual (WD_a) pada tanah dapat dilihat pada Lampiran 11 - 14.

Rata-rata diameter pembasahan yang terjadi (aktual, WD_a) dan diameter pembasahan perhitungan (acuan, WD_0) pada setiap tingkat debit keluaran penetes dapat dilihat pada Tabel 12.

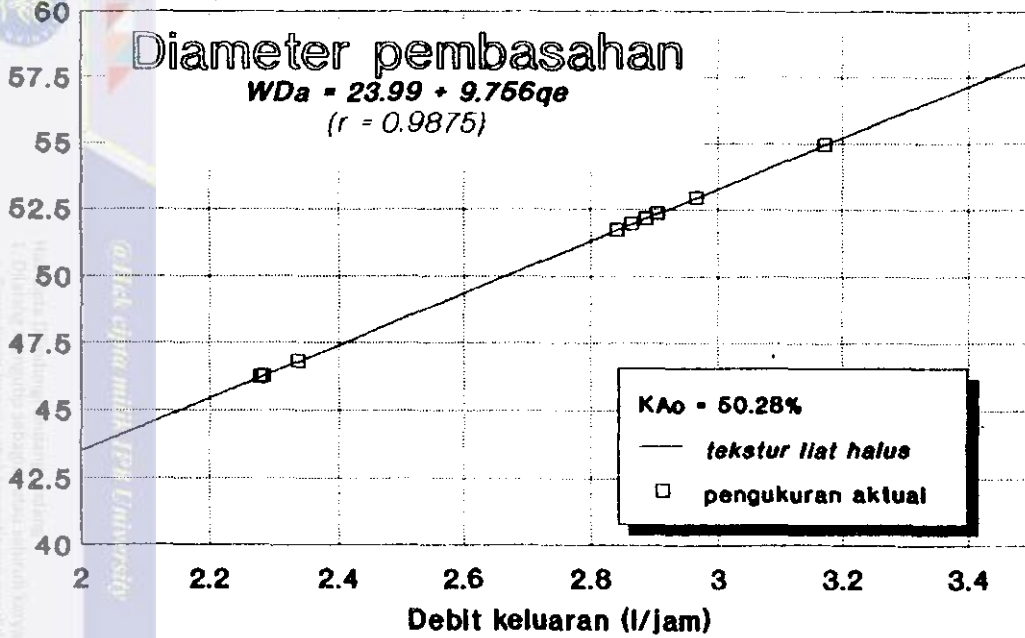
Tabel 12. Rata-rata diameter pembasahan aktual (WD_a) dan acuan (WD_o) pada berbagai debit keluaran penetes.

ulangan	Debit penetes (10^{-3} m ³ /jam)	WD_o (meter)	WD_a (meter)
1	2.2825	0.6888	0.4626
2	2.3350	0.6942	0.4677
3	2.8400	0.7410	0.5170
4	2.9050	0.7466	0.5233
5	2.9650	0.7516	0.5292
6	3.1700	0.7686	0.5492
7	2.2775	0.6884	0.4621
8	2.8625	0.7530	0.5192
9	2.8850	0.7448	0.5214

Dari Tabel 12 dapat dibuat grafik hubungan antara diameter pembasahan dan debit keluaran penetes seperti yang terlihat pada Gambar 33. Hasil regresi linier dari Gambar 33 dapat dibentuk suatu persamaan diameter pembasahan tanah aktual (WD_a).

Persamaan hubungan antara diameter pembasahan (cm) dan debit keluaran penetes (l/jam) pada tanah berstruktur liat halus adalah : $WD_a = 23.99 + 9.756 q_e$ ($r = 0.9875$). Dimana WD_a adalah diameter pembasahan yang terjadi (cm) dan q_e adalah debit keluaran penetes (l/jam).

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit keluaran yang digunakan maka semakin luas pula diameter pembasahan yang terjadi pada tanah.



Gambar 33. Grafik hubungan antara diameter pembasahan (cm) dan debit keluaran penetes (l/jam)

Diameter pembasahan yang terjadi relatif lebih kecil daripada tanah yang berstruktur kasar (*coarse soil*). Hal ini terjadi akibat kelembaban awal aplikasi air menunjukkan keadaan perakaran lewat kapasitas lapang sehingga pemberian air pada tanah langsung menyerap secara vertikal menuju daerah perakaran acuan dan penyerapan secara horisontal (perkolasi horisontal dalam tanah) relatif kecil sekali sehingga pembasahan yang terjadi adalah vertikal. Namun debit keluaran belum melewati batas kecepatan infiltrasi sehingga tidak terjadinya limpasan (*run off*).

Dari segi perancangan keadaan sistem telah memenuhi persyaratan, dimana diameter pembasahan maksimal penetes ($WD_{max.} = 52.92$ cm) lebih kecil dari 1.6 kali jarak antar penetes ($s = 0.6$ m), sehingga tidak terjadinya daerah kumulatif pembasahan (*over lapping*).

F. KEDALAMAN PENETRASI AIR IRIGASI

Kedalaman penetrasi air irigasi dapat diketahui dari perubahan kadar air yang terjadi pada kedalaman daerah perakaran, dimana perubahan kadar air menunjukkan air telah memasuki daerah perakaran tersebut. Pengamatan dilakukan sepanjang aplikasi pemberian air irigasi selama 3 jam.

Hasil pengamatan perubahan kadar air pada tiga tingkat kedalaman perakaran dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Perubahan kadar air pada tiga tingkat kedalaman perakaran acuan

ulangan	Debit penetes (l/jam)	Perubahan kadar air (%)		
		15 cm	30 cm	45 cm
1	2.2825	0.000	0.242	0.081
2	2.3350	0.000	0.081	0.000
3	2.8400	0.081	0.401	0.081
4	2.9050	0.000	0.081	0.000
5	2.9650	0.160	0.081	0.000
6	3.1700	0.081	0.081	0.081
7	2.2775	0.000	0.000	0.000
8	2.8635	0.242	0.081	0.081
9	2.2825	0.000	0.321	0.000
10	2.8625	0.081	0.000	0.081
δK_{rata2} (%)		0.065	0.138	0.041

Kadar air awal dan akhir aplikasi yang terjadi pada tiap kedalaman perakaran adalah 50.27% - 50.33% (15 cm), 50.23% - 50.37% (30 cm) dan 50.1% - 50.16% (45 cm). Data tersebut menunjukkan bahwa daerah perakaran sebelum pengaplikasian air irigasi telah melewati kapasitas lapang.

Volume air yang dapat ditampung kedalaman perakaran acuan sebesar 49.5 mm ($K_{Ajenuh} = 61.3\%$) dan terjadi penambahan air selama 3 jam sebesar 0.37 mm. Aliran vertikal akan dipengaruhi oleh laju konduktivitas hidrolik tanah.

Pada kedalaman 30 cm terjadi penumpukan air irigasi yang diakibatkan oleh adanya lapisan yang relatif impermeabel pada kedalaman 15 - 20 cm. Dengan titik pengukuran dilakukan antara 15 dan 30 cm maka tanah akan terganggu sehingga air akan masuk ke daerah yang telah terganggu tersebut dan kemudian menyerap lebih dalam lagi. Akibat tanah terganggu pada lapisan 30 cm maka kelembaban tanah akan lebih tinggi daripada lapisan bagian atas.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. Saluran utama (digunakan pipa elastis berdinding ganda ϕ 13 mm) memiliki koefisien kekasaran pipa sebesar 174.3.
2. Kinerja penetes tipe *On-Line Pot Dripper* memiliki persamaan hubungan debit keluaran (l/jam) dan tekanan operasi (m) : $q_e = 1.3222 H_e^{0.4615}$ dengan $r = 0.9869$.
3. Keseragaman aliran penetes pada tekanan operasi 7.01, 12.61 dan 14.02 m pada Rancangan 1 adalah 80.5% - 91% (UCC), 65.3% - 81.8% (EU) dan 0.32 - 0.54 (q_{var}), sedangkan Rancangan 2 sebesar 86% - 90.1% (UCC), 60.9% - 80.6% (EU) dan 0.37 - 0.5 (q_{var}).
4. Distribusi tekanan sepanjang saluran pada Rancangan 1 menyebabkan penurunan parsial pada saluran utama 1.75 m, manipol 2.45 m dan lateral 2.31 m sedangkan Rancangan 2 sebesar 2.1, 1.61 dan 3.64 m.
5. Dalam aplikasi air irigasi memiliki hubungan antara diameter pembasahan (cm) dan debit keluaran penetes (l/jam) pada tanah berstruktur berliat halus adalah :
$$WD_a = 23.99 + 9.756 q_e \quad (r = 0.9875).$$
6. Kedalaman penetrasi air irigasi dapat diketahui dari perubahan kadar air yang terjadi pada kedalaman perakaran, dimana perubahan kadar air pada kedalaman perakaran adalah 50.27% - 50.33% (15 cm), 50.23% - 50.37% (30 cm) dan 50.1% - 50.16% (45 cm) atau 0.06%, 0.14% dan 0.04%.

7. Dari segi hidrolis maka Rancangan 1 relatif lebih baik daripada Rancangan 2, namun perbedaan kinerja tidak terlampau jelas karena menggunakan plot yang kecil.
8. Pengaruh penggunaan filter tampak jelas pada kinerja sistem karena mampu menghindari terjadinya penyumbatan pada jaringan irigasi.

B. SARAN

1. Untuk mengatasi penyusutan tekanan yang terlampau tinggi (bervariasi) akibat penyumbatan kumulatif maka dapat diatasi dengan penggunaan peralatan filtrasi yang sesuai.
2. Pengamatan mengenai penyebaran kadar air perlu dilakukan untuk mengetahui efisiensi rancangan sistem irigasi.
3. Untuk penerapan lebih lanjut rancangan sistem irigasi tetes pada lahan pertanian maka perlu diadakan penelitian mengenai pengaruh sistem terhadap hasil tanaman sehingga didapatkan analisa ekonomi (kelayakan) penerapan sistem irigasi tetes pada lahan pertanian terbuka.
4. Penerapan pada lahan pertanian harus memperhitungkan beberapa kendala diantaranya : biaya sistem yang tinggi, penyumbatan jaringan (dataran tinggi/bersuhu rendah), penumpukan garam pada daerah perakaran dan erosi akibat angin (daerah/tanah kering dan bercurah hujan rendah).

DAFTAR PUSTAKA

- Aljibury, F.K. 1974. Water in Drip Irrigation. Proc. second International. Drip Irrigation. San Diego, CA. p. 341-350 Di dalam Jensen, M.E. (editor). 1983. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE. St. Joseph, Mich. USA.
- Benami, A. dan A. Offen. 1984. Irrigation Engineering. Faculty of Agricultural Engineering Tehnion, Israel. Institute of Technology, Tehnion-Haifa. Israel.
- Buckman, H.O. dan N.C. Brady. 1969. Nature and Property of Soils. The Mac Millan Co. New York. (terjemahan) Soegiman. 1982. Ilmu Tanah. PT Bhratara Karya Aksara. Jakarta.
- Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by Sprinkling. California Agric. Exp. Stat. Bulletin : 670. Di dalam Karmeli, D., G. Peri dan M. Todes. 1985. Irrigation Systems : Design and Operation. Oxford University Press. Cape Town.
- Doorenbos, J. dan W.O. Pruitt. 1977. Crop Water Requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 24. FAO. Rome. 144p.
- Giles, R.V. 1977. Theory and Problems of Fluid Mechanics and Hydraulics. Second Edition. Mc. Graw-Hill, Inc. (terjemahan). Erlangga. Jakarta.
- Hansen, V.E., O.W. Israelsen dan G.E. Stringham. 1962. Irrigation Principles and Practices. Fourth Edition. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- Herbert, E. 1971. Hydraulics Design: The Use of Polyplot. Imperial Chemical Industries of New Zealand Ltd. Melbourne. Aus. Di dalam Benami, A. dan A. Offen. 1984. Irrigation Engineering. Faculty of Agricultural Engineering Tehnion, Israel. Institute of Technology, Tehnion-Haifa. Israel.
- Hughes, T.C. dan R.W. Jeppson. 1978. Hydraulic Friction Loss in Small Diameter Plastic Pipelines. Water Res. Bull. 14 : 1159-1166. Di dalam Jensen, M.E. (editor). 1983. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE. St. Joseph, Mich. USA.
- Jensen, M.E. (editor). 1983. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE. St. Joseph, Mich. USA.

- Karmeli, D. dan J. Keller. 1975. Trickle Irrigation Design. First Edition. Rain Bird Sprinkler Mfg. Corp. Olondora. 133p. Di dalam Jensen, M.E. (editor). 1983. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE. St. Joseph, Mich. USA.
- Karmeli, D., G. Peri dan M. Todes. 1985. Irrigation Systems : Design and Operation. Oxford University Press. Cape Town.
- Merrill, S.D., P.A. Raats dan C. Dicksen. 1978. Flow from a Point of Source at The Surface of a Heterogeneous Soil Column. Soil Sci. Soc. Am. J. 42 : 851-852. Di dalam Jensen, M.E. (editor). 1983. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE. St. Joseph, Mich. USA.
- Partowijoto, A. 1984. Kapita Selektta Teknik Tanah dan Air. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Safei, A. 1986. Pendugaan Penyebaran Kadar Air Tanah Pada Irigasi Tetes. Thesis S-2. Fakultas Pasca Sarjana - Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Schwab, G.O., R.K. Frevert, T.W. Edminster dan K.K. Barnes. 1981. Soil And Water Conservation Engineering. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Setiadi. 1990. Bertanam Melon. PT Penebar Swadaya. Jakarta.
- Shochley, D.R. 1955. Capacity of Soil to Hold Moisture. Agric. Eng. 36 : 109-112.
- Sosrodarsono, S. dan K. Takeda. 1977. Hidrologi untuk Pengairan. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Tobing, B.P.M.L. 1991. Kinerja Emitter Tipe Selang Kecil Dengan Menggunakan Bahan Lokal Pada Irigasi Tetes. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian - Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Walpole, R.E. 1982. Introduction to Statistics. 3rd Edition. (terjemahan). PT. Gramedia. Jakarta.
- Walter, G.Z. dan J. Keller. 1978. Trickle Irrigation Tubing Hydraulics. ASAE Paper. 78 : 2015. St. Joseph, Michigan. Di dalam Benami, A. dan A. Offen. 1984. Irrigation Engineering. Faculty of Agricultural Engineering Tehnion, Israel. Institute of Technology, Tehnion-Haifa. Israel.



LAMPIRAN

Hak Cipta Ditanggung Universitas

1. Dilarang menyalin atau mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan sumber.

2. Diperbolehkan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

3. Dilarang menggunakan atau menyalinnya sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 1. Data kondisi tanah Cikarawang, Darmaga - Bogor

Pengukuran Bulk Density (gram/cm³)

no sampel	Wbasah (gram)	Wkering (gram)	Wwadah (gram)	Wtanah (gram)
1	250.582	222.696	128.237	94.459
2	275.995	241.897	147.850	94.047
3	253.476	222.693	128.958	94.000
4	294.278	251.857	138.426	113.431
5	254.550	221.093	127.924	93.169
6	257.920	222.553	126.987	95.566
Bulk Density rata-rata			0.9745 gr/cm ³	

Komposisi partikel tanah

no sampel	Persentase (%)		
	Pasir	Debu	Liat
1	9	37	54
2	10	37	53
3	11	34	55
Rata ²	10	36	54

Data pF tanah

pF	0	0.5	1.0	1.5	1.75	2.0	2.2	2.54	3.0	4.2
KA (%)	61.3	60.8	60.2	56.7	55.2	52.3	50.9	49.4	47.9	31.1

Lampiran 2. Data karakteristik laju aliran penetes (l/jam)

Sampel	Tekanan (Psi)						
	13	16	20	23	31	35	40
1	3.70	4.00	4.60	4.65	5.60	5.60	5.90
2	3.85	4.00	4.60	4.20	5.50	5.80	6.20
3	3.60	4.10	4.36	5.00	5.20	5.80	5.95
4	3.80	4.10	4.60	5.15	5.60	5.80	6.25
5	3.80	4.30	3.94	4.75	5.60	6.00	6.20
Rata ²	3.75	4.10	4.42	4.75	5.50	5.80	6.10

Lampiran 3. Data Pengamatan Infiltrasi tanah

Waktu sesaat (menit)	Total waktu (menit)	Beda tinggi (cm)	Tinggi air (cm)	f_1 (l/jam)
1	1	5.0	5.0	212.06
2	3	3.0	8.0	63.62
5	8	3.6	11.6	30.54
10	18	7.3	18.9	30.96
20	38	12.8	31.7	18.10
25	63	14.3	46.0	24.26
35	98	14.9	60.9	18.06
35	133	12.8	73.7	15.51
45	178	13.7	87.4	12.91
50	238	14.2	101.6	10.04

Waktu sesaat (menit)	Total waktu (menit)	Beda tinggi (cm)	Tinggi air (cm)	f_2 (l/jam)
1	1	3.2	3.2	135.72
3	4	2.9	6.1	41.00
5	9	1.9	8.0	16.12
10	19	4.6	12.6	19.51
15	34	4.9	17.5	13.85
20	54	7.7	25.2	16.33
30	84	11.6	36.8	16.40
45	129	19.4	56.2	18.28
60	179	27.8	84.0	19.65
75	264	26.6	110.6	15.04

Keterangan :

$$f_1 = 20.417 t^{-0.4828} \text{ (l/jam)}$$

$$F_1 = 0.427 t^{0.5667} \text{ (cm)}$$

$$f_2 = 11.482 t^{-0.3617} \text{ (l/jam)}$$

$$F_2 = 0.257 t^{0.6222} \text{ (cm)}$$

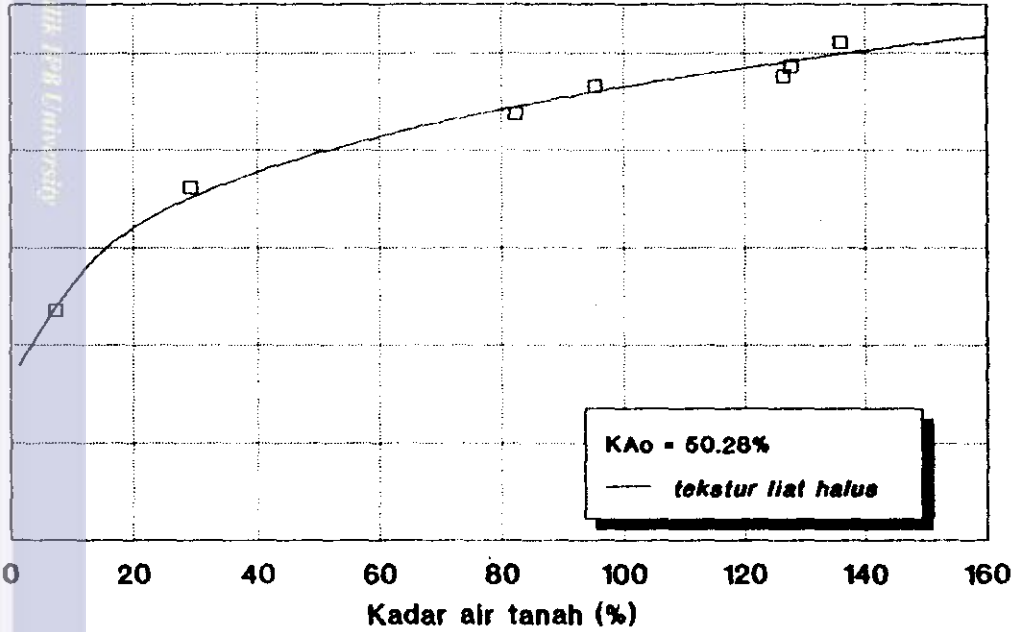
Lampiran 4. Grafik kalibrasi Gypsum Block

Kalibrasi gypsum block

$$KA = 16.39 A^{0.2265}$$

$$(r = 0.9317)$$

Kuat arus (mikroAmpere)



IPB University
 Institut Pertanian Bogor
 Jalan Ceger Gunung, Bogor 16153
 Telp. (0251) 8717333
 Fax. (0251) 8717334
 Email: info@ipb.ac.id
 Website: www.ipb.ac.id
 IPB University
 Institut Pertanian Bogor
 Jalan Ceger Gunung, Bogor 16153
 Telp. (0251) 8717333
 Fax. (0251) 8717334
 Email: info@ipb.ac.id
 Website: www.ipb.ac.id

Lampiran 5. Debit keluaran penetes pada Rancangan 1 (l/jam)

Tekanan operasi lateral 6 Psi (= 4.20 m)

Lateral	I		II		III		IV	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2.3	3.0	2.4	2.8	2.4	3.0	2.2	3.0
2	2.0	2.8	2.0	2.2	2.1	2.6	2.8	1.8
3	1.9	1.8	2.0	2.2	1.9	1.8	2.4	2.4
4	1.9	2.2	2.2	2.8	1.9	2.8	2.4	2.4
5	2.0	1.8	2.0	1.8	1.9	2.2	2.4	2.0
6	2.3	2.0	2.0	2.0	2.8	2.4	2.8	2.0
7	2.5	2.2	2.1	2.0	2.5	1.8	2.6	2.4
8	2.3	2.4	2.0	2.6	2.2	2.4	2.4	2.2
9	2.5	2.0	2.0	2.4	2.4	2.2	2.5	2.4
10	2.5	3.0	2.2	3.0	2.5	2.4	2.8	2.6

Keterangan :

Ulangan 1

Debit rata-rata = 2.2825 l/jam

 Σ Deviasi absoulut = 17.8 l/jam

Ulangan 2

Debit rata-rata = 2.3350 l/jam

 Σ Deviasi absoulut = 12.82 l/jam

Lampiran 6. Debit keluaran penetes pada Rancangan 1 (1/jam)

Tekanan operasi lateral 14 Psi (= 9.81 m)

Lateral	I		II		III		IV	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.2	3.2
2	3.2	2.6	3.1	2.8	2.9	2.8	3.1	2.6
3	2.9	2.0	2.9	3.0	2.8	3.0	2.5	2.6
4	3.2	2.8	2.6	2.6	3.0	2.8	2.5	3.2
5	2.6	2.4	2.6	2.8	2.7	3.0	2.9	2.0
6	2.6	2.6	2.8	2.8	2.5	3.0	2.7	2.6
7	4.2	2.8	2.8	3.0	2.6	2.8	2.5	2.8
8	2.8	2.6	2.7	3.0	2.6	2.8	2.4	2.6
9	3.6	3.0	3.2	2.8	2.9	3.0	2.5	3.0
10	3.0	3.4	3.0	3.4	3.2	3.4	2.9	4.4

Keterangan :

Ulangan 1

Debit rata-rata = 2.9100 l/jam

 Σ Deviasi absolut = 11.10 l/jam

Ulangan 2

Debit rata-rata = 2.9050 l/jam

 Σ Deviasi absolut = 10.80 l/jam

Lampiran 7. Debit keluaran penetes pada Rancangan 1 (l/jam)

Tekanan operasi lateral 20 Psi (= 14.01 m)

Lateral ulangan	I		II		III		IV	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	3.7	3.0	3.7	3.6	3.2	3.6	3.5	3.8
2	3.9	3.0	3.3	3.2	3.0	3.2	3.2	3.2
3	3.2	2.8	3.2	2.6	2.8	3.0	2.8	3.0
4	3.4	3.0	3.4	2.8	2.6	3.6	2.9	3.0
5	3.1	2.4	2.5	2.8	2.7	3.6	3.0	2.8
6	3.1	2.8	2.9	2.8	2.0	3.2	2.7	2.8
7	2.7	3.0	3.1	2.4	2.2	2.8	2.7	3.0
8	3.0	3.2	2.8	3.2	2.3	3.4	2.5	2.8
9	2.6	3.2	2.9	3.0	2.7	3.4	2.5	3.2
10	3.1	3.6	3.1	3.6	3.5	3.8	3.1	3.8

Keterangan :

Ulangan 1

Debit rata-rata = 2.9650 l/jam

 Σ Deviasi absoulut = 13.16 l/jam

Ulangan 2

Debit rata-rata = 3.1700 l/jam

 Σ Deviasi absoulut = 13.37 l/jam

Lampiran 8. Debit keluaran penetes pada Rancangan 2 (l/jam)

Tekanan operasi lateral 6 Psi (= 4.20 m)

Lateral	I		II		III		IV	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2.6	3.0	3.0	3.0	2.6	2.8	2.8	2.8
2	2.2	2.4	2.2	2.6	2.2	2.2	2.2	2.0
3	1.9	2.0	2.4	2.2	2.0	2.2	2.0	2.0
4	2.0	2.1	2.8	2.3	2.4	2.4	2.2	2.2
5	2.0	2.0	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9
6	2.6	2.2	2.2	2.0	2.2	2.0	2.2	2.0
7	2.0	2.0	2.0	2.2	2.2	1.9	2.0	2.2
8	2.4	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
9	1.6	1.9	2.0	2.4	2.4	2.2	2.4	2.3
10	2.8	2.8	2.6	3.0	3.2	2.8	2.6	3.0

Keterangan :

Ulangan 1

Debit rata-rata = 2.2775 l/jam

 Σ Deviasi absolut = 10.9 l/jam

Ulangan 2

Debit rata-rata = 2.2825 l/jam

 Σ Deviasi absolut = 11.36 l/jam

Lampiran 9. Debit keluaran penetes pada Rancangan 2 (1/jam)

Tekanan operasi lateral 16 Psi (= 10.51 m)

Lateral	I		II		III		IV	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	3.6	3.4	3.0	3.0	3.2	3.6	3.6	3.6
2	3.0	3.0	2.2	2.2	2.8	2.8	3.0	3.2
3	3.4	2.8	2.6	2.8	3.2	3.2	3.0	3.0
4	2.2	2.2	2.8	2.6	2.6	2.6	2.8	2.8
5	2.0	2.0	1.8	2.8	2.8	2.4	1.8	2.4
6	2.0	2.0	3.0	2.8	2.6	2.8	3.2	2.2
7	2.8	1.8	2.6	3.0	1.8	2.6	2.4	2.4
8	3.0	2.8	2.8	2.8	3.0	3.0	3.6	3.0
9	2.8	3.2	3.0	3.2	2.8	3.0	3.2	3.2
10	3.6	3.6	3.6	3.2	3.6	3.6	3.6	3.6

Keterangan :

Ulangan 1

Debit rata-rata = 2.8625 l/jam

 Σ Deviasi absoulut = 16.40 l/jam

Ulangan 2

Debit rata-rata = 2.8550 l/jam

 Σ Deviasi absoulut = 14.72 l/jam

Lampiran 10. Debit keluaran penetes pada Rancangan 2
(l/jam)

Tekanan operasi pompa 20 Psi (= 14.01 m)

Lateral ulangan	I		II		III		IV	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	3.2	3.4	3.4	3.4	3.2	3.0	3.3	3.0
2	2.8	3.0	3.0	2.6	2.8	2.3	3.2	3.2
3	3.2	2.6	2.7	2.6	2.3	2.7	3.0	3.2
4	2.8	2.7	2.7	2.5	2.2	2.8	3.2	3.0
5	2.8	2.1	2.9	2.7	2.3	2.6	3.1	2.6
6	2.8	2.7	2.6	2.8	2.2	2.8	3.4	2.6
7	2.8	2.7	2.9	2.5	2.3	2.6	3.4	3.3
8	3.2	2.8	2.8	2.6	2.2	2.8	3.7	2.7
9	2.8	2.7	2.6	2.8	2.4	2.8	3.5	3.4
10	3.0	3.6	2.8	3.4	2.4	3.4	3.4	3.4

Keterangan :

Ulangan 1

Debit rata-rata = 2.8825 l/jam
 Σ Deviasi absoulut = 12.88 l/jam

Ulangan 2

Debit rata-rata = 2.8625 l/jam
 Σ Deviasi absoulut = 11.32 l/jam

Lampiran 11. Diameter pembasahan (WD_a)

q_e rata-rata = 2.2825 l/jam (UCC = 80.50%)

Sampel no.	Lateral			
	I	II	III	IV
1	42.5	46.0	43.5	47.5
2	43.0	44.5	43.5	44.5
3	40.0	40.5	55.0	46.5
4	47.0	39.0	51.0	46.0
5	46.0	39.5	49.0	50.5
6	50.0	45.0	44.0	43.5
7	48.0	45.0	49.0	39.0
8	40.0	43.5	49.0	38.5
9	42.0	44.0	44.0	40.0
10	40.0	46.5	47.5	53.0

Keterangan : $WD_{rata}^2 = 44.9$ cm

q_e rata-rata = 2.3350 l/jam (UCC = 86.27%)

Sampel no.	Lateral			
	I	II	III	IV
1	37.5	49.5	47.5	49.0
2	45.0	50.0	48.0	49.0
3	52.5	57.5	37.5	59.0
4	52.5	47.5	51.0	46.5
5	57.5	53.0	46.5	49.0
6	47.5	50.0	52.5	46.5
7	49.5	44.0	48.5	49.0
8	44.0	49.5	51.5	51.0
9	52.5	53.5	48.0	45.0
10	52.5	61.5	48.0	54.0

Keterangan : $WD_{rata}^2 = 49.60$ cm

Lampiran 12. Diameter pembasahan (WD_a)

q_e rata-rata = 2.8400 l/jam (UCC = 90.23%)

Sampel no.	Lateral			
	I	II	III	IV
1	47.5	60.0	58.0	54.0
2	46.0	58.0	60.0	51.0
3	43.5	64.0	51.5	50.5
4	47.5	59.0	45.0	43.5
5	35.0	57.0	52.0	46.5
6	36.0	55.5	44.5	44.5
7	32.5	55.5	47.5	48.0
8	35.5	53.0	49.5	38.5
9	52.5	44.5	44.0	50.0
10	50.5	53.0	46.5	56.5

Keterangan : $WD_{rata}^2 = 49.45 \text{ cm}$

q_e rata-rata = 2.9050 l/jam (UCC = 90.71%)

Sampel no.	Lateral			
	I	II	III	IV
1	47.5	64.0	51.5	52.0
2	42.5	60.5	60.0	47.5
3	48.5	60.0	42.5	45.0
4	58.0	53.0	64.0	63.5
5	52.5	42.5	45.0	40.0
6	51.0	49.0	47.0	56.5
7	49.0	50.0	50.0	57.5
8	46.5	54.0	50.0	48.5
9	45.0	47.5	49.0	52.5
10	61.5	56.0	49.9	44.0

Keterangan : $WD_{rata}^2 = 51.34 \text{ cm}$

Lampiran 13. Diameter pembasahan (WD_a)

q_e rata-rata = 2.9650 l/jam (UCC = 88.90%)

Sampel no.	Lateral			
	I	II	III	IV
1	48.5	53.0	65.5	62.5
2	50.0	59.0	59.0	64.5
3	52.5	59.0	55.5	55.5
4	49.0	55.5	56.5	56.5
5	46.0	51.5	56.5	50.0
6	47.0	52.0	47.5	55.5
7	45.0	59.0	52.0	57.5
8	42.5	53.0	53.0	55.5
9	49.0	54.0	55.5	50.0
10	46.5	55.5	60.0	59.0

Keterangan : $WD_{rata}^2 = 53.88$ cm

q_e rata-rata = 3.1700 l/jam (UCC = 89.46%)

Sampel no.	Lateral			
	I	II	III	IV
1	53.0	53.0	47.0	52.5
2	56.0	48.0	50.5	57.5
3	49.5	55.5	51.5	46.5
4	46.0	50.0	47.5	49.0
5	48.5	48.0	56.0	50.0
6	52.0	48.5	56.5	50.0
7	43.5	51.5	41.0	55.0
8	43.0	45.0	55.0	50.0
9	46.5	47.5	53.0	52.5
10	57.0	42.5	57.5	51.5

Keterangan : $WD_{rata}^2 = 50.35$ cm

Lampiran 14. Diameter pembasahan (WD_a)

q_e rata-rata = 2.2775 l/jam (UCC = 88.04%)

Sampel no.	Lateral			
	I	II	III	IV
1	38.5	33.5	30.0	37.5
2	29.5	42.5	27.5	32.5
3	45.0	47.5	44.0	37.5
4	40.0	47.5	45.5	50.0
5	44.5	45.0	45.0	42.5
6	47.0	52.5	45.0	44.0
7	47.5	40.0	54.0	45.5
8	48.0	41.5	35.0	57.5
9	33.5	41.0	45.0	44.0
10	40.0	49.0	40.0	50.0

Keterangan : $WD_{rata}^2 = 42.64 \text{ cm}$