GRAHA ILMU

Prof. Dr. Ir. R.A. Bustomi Rosadi, M.S.



DASAR-DASAR TEKNIK IRIGASI

RPUSTAKAAN
EARSIPAN
JAWA TIMUR

7.52
US
d.1

DASAR-DASAR TEKNIK IRIGASI

Prof. Dr. Ir. R.A. Bustomi Rosadi, M.S.

GRAHA ILMU

MILIK
Perpustakaan & Kearsipan
Provinsi Jawa Timur
5.471/BPK/P/2016

DASAR-DASAR TEKNIK IRIGASI, *oleh Prof. Dr. Ir. R.A. Bustomi Rosadi, M.S.*
Hak Cipta © 2015 pada penulis

GRAHA ILMU
Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283
Telp: 0274-889398; Fax: 0274-889057; E-mail: info@grahailmu.co.id

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: 978-602-262-515-5
Cetakan Pertama, tahun 2015

Semua informasi tentang buku ini, silahkan scan QR Code di cover belakang buku ini

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmatnya sehingga penulisan buku dengan judul *"Dasar-dasar Teknik Irigasi"* ini dapat diselesaikan, walaupun masih banyak kekurangan di beberapa bagian.

Buku ini disusun berdasarkan pengalaman penulis di dalam mengasuh mata kuliah Hubungan Tanah, Air dan Tanaman, Pengelolaan Air serta Teknik Irigasi dan Drainase di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas lampung. Buku ini diharapkan menjadi pegangan (*textbook*) bagi para mahasiswa di fakultas pertanian, khususnya jurusan teknik pertanian.

Buku ini merupakan saduran dari beberapa buku:

1. Ali, M.H. 2010. *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management*. Springer. New York.
2. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO. Irrigation and Drainage paper 56. FAO, Rome, Italy, pp. 159-181.
3. Doorenbos, J. & Kassam, A. H. 1979. *Yield Response to Water-Part A of Irrigation and Drainage paper No. 33-*. FAO, Roma, pp. 1-57.
4. James, L.G. 1988. *Principles of Farm Irrigation System Design*. Krieger Publishing Company. Malabar. Florida.
5. Michael, A.M. 1978 Irrigation Theory and Practice. Vikas Publishing House PVT LTD. New Delhi.
6. Kalsim,D.K. 1985. Bahan kuliah Teknik Irigasi dan Drainase pada program detasering dosen IPB ke Unila. Dalam rangka kerjasama Unila dengan IPB.

Buku ini menguraikan tentang hubungan air, tanah dan tanaman; kebutuhan air; penjadwalan irigasi; kualitas air; metode irigasi dan pengukuran aliran. Buku ini diharapkan dapat menjadi pegangan bagi para mahasiswa jurusan teknik pertanian.

Akhirnya, penulis berharap semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan mahasiswa pada khususnya. Kritik serta saran dari para pembaca untuk penyempurnaan buku ini sangat penulis harapkan.

Bandar Lampung, Februari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR		**v**
DAFTAR ISI		**vii**
DAFTAR GAMBAR		**xi**
DAFTAR TABEL		**xv**
BAB I	**PENDAHULUAN**	**1**
	1.1 Ruang Lingkup	1
	1.2 Fungsi Irigasi	1
	1.3 Manfaat Irigasi	2
	1.4 Sumber Air Irigasi	2
BAB II	**HUBUNGAN TANAH, AIR DAN TANAMAN**	**3**
	2.1 Tanah	3
	2.1.1 Sifat-sifat Fisik Tanah yang Memengaruhi Irigasi	3
	2.1.2 Klasifikasi Air Tanah	6
	2.1.3 Karakteristik Air Tanah	7
	2.1.4 Konstanta Kelembapan Tanah	7
	2.2 Air Tanah Tersedia	9
	2.3 Tanggapan Hasil Terhadap Air	11
BAB III	**KEBUTUHAN AIR DAN EFISIENSI IRIGASI**	**15**
	3.1 Kebutuhan air tanaman	15
	3.1.1 Pengukuran Evapotranspirasi Secara Langsung	16
	3.1.2 Pengukuran Evapotranspirasi Secara Tidak Langsung	18
	3.2 Kebutuhan Air Irigasi	20
	3.3 Efisiensi Irigasi	21

3.3.1 Efisiensi Penyaluran Air 22
3.3.2 Efisiensi Pemberian Air 22
3.3.3 Efisiensi Penyimpanan Air 22
3.3.4 Efisiensi Distribusi Air 23
3.3.5 Efisiensi Penggunaan Air 23

BAB IV PENJADWALAN IRIGASI 25
4.1 Strategi Penjadwalan 25
4.1.1 Irigasi Penuh 25
4.1.2 Irigasi Defisit 26
4.2 Waktu Pemberian Air 27
4.2.1 Indikator Tanaman 27
4.2.2 Indikator Tanah 29
4.2.3 Teknik Neraca Air (*Water Budget Technique*) 30

BAB V KUALITAS AIR 31
5.1 Hubungan Kualitas Air dan Tanaman 31
5.2 Kriteria Kualitas Air Irigasi 34
5.3 Klasifikasi Air Irigasi 35
5.4 Pengendalian Salinitas 35
5.4.1 Pencucian Garam 36
5.4.2 Memelihara Tingginya Air Tanah Tersedia 36
5.4.3 Tanaman yang Toleran Terhadap Garam 36
5.4.4 Drainase 36

BAB VI METODE IRIGASI 37
6.1 Metode Irigasi Permukaan 38
6.1.1 Irigasi Border 38
6.1.2 Irigasi Basin 41
6.1.3 Irigasi Alur (Furrow Irigation) 43
6.2 Irigasi Bawah permukaan 46
6.3 Irigasi Curah 47
6.3.1 Kesesuaian Irigasi Curah 48
6.3.2 Tipe Irigasi Curah 49
6.3.3 Komponen-komponen Irigasi Curah 51
6.3.4 Penggunaan Pupuk 55
6.3.5 Pola Penyebaran Kelembaban dan Keseragaman Cakupannya 56
6.3.6 Koefisien Keseragaman (Cu) 57
6.4 Irigasi Tetes 58
6.4.1 Macam-macam Irigasi Tetes 59
6.4.2 Komponen Sistem Irigasi Tetes 60

BAB VII PENGUKURAN ALIRAN **63**
7.1 Pengukuran debit di saluran terbuka 64
7.1.1 *Volumetric Method* 64
7.1.2 *Velocity Area Method* 64
7.1.3 *Control Section Method* 67
7.1.4 *Dilution Methods* 82
7.2 Pengukuran Aliran pada Pipa 83
7.2.1 *Differential Pressure Flowmeters* 83
7.2.2 *Rotating Mechanical Flowmeters* 85
7.2.3 *Bypass Flowmeter* 86
7.2.4 *Ultrasonic Flowmeters* 86
7.2.5 Insertion Flowmeters 88

DAFTAR PUSTAKA **91**

-oo0oo-

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Skema Sistem Tiga Fase Tanah	4
Gambar 2.2	Kelembapan Tanah dan Cairan di Antara Agregat Tanah	6
Gambar 2.3	Diagram yang Menunjukkan Perkembangan Penebalan Lapisan Air dalam Pori Makro dan Penurunan Tegangannya pada Permukaan Tanah yang Memegang Air	6
Gambar 2.4	Kurva Karakteristik Kelembapan pada Tanah-tanah Liat (*Clay*), Lempung (*Loam*) dan Berpasir (Sandy)	7
Gambar 2.5	Jenis Air Tanah dan Perbedaan Kandungan Air Tanah Tersedia Antara Tanah Berpasir (*Sandy*) dan Lempung Berdebu (*Silt Loam*)	8
Gambar 2.6	Hubungan Antara Penurunan Hasil Relatif (1- Y_a/Y_m) dan Evapotranspirasi Relatif (1- ET_a/ET_m) untuk Periode Total Pertumbuhan	13
Gambar 2.7	Hubungan Antara Penurunan Hasil Relatif (1- Y_a/Y_m) dan Evapotranspirasi Relatif (1- ET_a/ET_m) untuk Periode Pertumbuhan Tertentu	14
Gambar 3.1	Evapotranspirasi Tanaman Acuan (ETo), Evapotranspirasi Tanaman di bawah Kondisi Standard (ET_c)dan non-standard ($ET_{c\ adj}$)	15
Gambar 3.2	Perlengkapan Lysimeter untuk Mengukur Evapotranspirasi	17
Gambar 4.1	Fungsi Produksi Tanaman (*A Crop Production Function*)	25
Gambar 5.1	Kurva Karakteristik Tanah untuk Kandungan Air Tanah pada Berbagai Kandungan Garam	32
Gambar 5.2	Hubungan Hasil dan Salinitas	32
Gambar 6.1	Skema Metode Irigasi	37
Gambar 6.2	Skema Tata-Letak Sistem Irigasi Border	38
Gambar 6.3	Pertumbuhan Gandum yang Seragam pada Border Lurus (*Straight Border*)	39
Gambar 6.4	Tata-Letak Kontur Border (*Border Contour Irrigation*)	40
Gambar 6.5	Kurva Jelajah (*Advance*) dan Resesi (*Recession*) pada Irigasi Border	40
Gambar 6.6	Skema Ilustrasi Tata-Letak Metode Irigasi Basin	41

Gambar 6.7	Tata-Letak Metode Irigasi Basin di Lahan	41
Gambar 6.8	Kurva Jelajah dan Resesi pada Irigasi Basin	43
Gambar 6.9	Skema Ilustrasi Irigasi Alur dengan Satu Alur untuk Dua Baris Tanaman Sayuran	44
Gambar 6.10	Profil yang Menunjukkan Gerakan Air Kebawah pada Berbagai Jenis Tanah	44
Gambar 6.11	Pola Penetrasi Kelembaban pada Irigasi Alur pada Tanah yang Seragam	44
Gambar 6.12	Irigasi Alur untuk Sayuran. Tanaman Tumbuh pada Galengan dengan Irigasi Alur di antara Baris Tanaman	45
Gambar 6.13	Pemberian Air Sebelum Penebaran Benih pada Metode Irigasi Alur Lurus	46
Gambar 6.14	Teras Gali (*Trench Dug*) pada Irigasi Bawah Tanah Tanaman Jagung	47
Gambar 6.15	Irigasi Bawah Tanah pada Perkebunan Kelapa dan Singkong Melalui Saluran Terbuka pada Tanah Organik	47
Gambar 6.16	*Head Sprinkler Line* Sedang Memutar untuk Mengairi Barisan Tanaman	49
Gambar 6.17	Sistem Irigasi Curah dengan Pipa Berlubang Sedang Memancarkan Airnya	50
Gambar 6.18	Unit Irigasi Sprinkler yang Portabel Menggunakan Sistem Roda yang Bergerak pada Lateral di Lapangan	50
Gambar 6.19	Komponen Sistem Irigasi Sprinkler	51
Gambar 6.20	Satu Set Mesin Pompa yang Portabel yang Mengambil Air dari Sistem Pendistribusian Perpipaan Air Bawah Tanah untuk Mengoperasikan Sistem Sprinkler yang Portabel	52
Gambar 6.21	*Cardan-Joint Coupling* Jaringan Sprinkler	53
Gambar 6.22	Kopling Tipe Sekrup dan Plug Jaringan Sprinkler	53
Gambar 6.23	Tangki Pupuk di atas Lateral Sistem Sprinkler	55
Gambar 6.24	Venturi Digunakan Bersamaan Pemberian Pupuk	55
Gambar 6.25	Metode Penambahan Pupuk Cair Melalui Bagian Pengisapan Pompa Sentrifugal	56
Gambar 6.26	Pola Distribusi Kelembaban *Head Sprinkler* Berputar pada Kondisi Berangin	56
Gambar 6.27	Pola Distribusi Kelembaban *Head Sprinkler* Beraputar pada Kondisi Angin dan Tekanan yang Menguntungkan	57
Gambar 6.28	Pola Distribusi Kelembaban dari Overlap Sprinkler	57
Gambar 6.29	Sistem Irigasi Tetes Tipe Bubbler	59
Gambar 6.30	Komponen Sistem Irigasi Tetes	60
Gambar 7.1	Pengukuran Aliran pada Irigasi Alur Secara Volumetric	64
Gambar 7.2	Penampang Melintang pada Saluran Terbuka yang Dibagi ke dalam 5 Segmen	65
Gambar 7.3	Current Meter Tipe Propeller (a) dan tipe Price (b)	66
Gambar 7.4	Profile Ambang Ukur yang Tipis (Thin-Plane Weir)	68
Gambar 7.5	Ambang Ukur Segi Empat	69
Gambar 7.6	Ambang Ukur Segitiga (V-notch, Thin Plate Weir)	70
Gambar 7.7	Koefisien Debit (Cd pada Persamaan 7.7)	70
Gambar 7.8	Nilai kh (pada Persamaan 7.8)	71
Gambar 7.9	Geometri Parshall Flume	72
Gambar 7.10	Sketsa Cutthroat Flume	75

Gambar 7.11	Generalisasi Koefisien Aliran Bebas dan Tergenang (Kf dan Ks), dan Transisi Genangan (St) pada Cutthroat Flume. Data ini Menggunakan Persamaan 7.10, 7.11, 7.12 dan 7.13.	75
Gambar 7.12	Standard Kalibrasi Trapezoidal Flume	76
Gambar 7.13	Layout dan Dimensi (in) *WSC V-Notch Flume*	78
Gambar 7.14	Layout HS Flume	79
Gambar 7.15	Long-Throat Flume pada Saluran Trapesium (a) dan Sketsa Long-Throat Flume	80
Gambar 7.16	Persamaan Hubungan Tinggi dan Debit pada Long-Throat Flumes	81
Gambar 7.17	Alat Ukur Aliran Venturi	83
Gambar 7.18	*Orifice Flowmeter*	84
Gambar 7.19	Koefisien Aliran (Ce pada Persamaan 7.19) untuk Diameter Elbow Meter yang Berbeda pada Bilangan Reynold > 100,000	85
Gambar 7.20	Propeller Meter Dipasang pada Bagian Pipa	85
Gambar 7.21	Skematik By Pass Meter	86
Gambar 7.22	Prinsip *Single-Path, Diagonal-Beam, Ultrasonic Flowmeter*	86
Gambar 7.23	A Four-Chordal Diagonal-Beam Ultrasonic Flowmeter	87
Gambar 7.24	Prinsip *Cross-Correction Ultrasonic Flowmeter*	87
Gambar 7.25	Prinsip *Doppler-Effect Ultrasonic Flowmeters*	88
Gambar 7.26	Skema Pitot Tube	89
Gambar 7.27	Insertion-Type Flowmeter yang Tersedia Secara Komersial	89

-oo0oo-

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kisaran Kapasitas Tanah Menahan Air Tanah Tersedia	9
Tabel 2.2	Pengelompokan Tanaman Menurut Penipisan Air Tanah (*Soil Water Depletion*)	10
Tabel 2.3	Faktor Tanggapan Hasil (Ky) Beberapa Tanaman Budidaya	12
Tabel 3.1	Efisiensi Pemeberian Air (Application Efficiency) pada Berbagai Sistem Irigasi	24
Tabel 4.1	Irigasi yang Tepat pada Fase Pertumbuhan Tanaman yang Kritis untuk Pengelolaan Efisiensi Penggunaan Air (*Water Use Efficiency*, WUE)	26
Tabel 4.2	Penentuan Saat Irigasi Berdasarkan Indikator Tanaman	27
Tabel 5.1	Ambang Batas Serta Produksi Zero pada Berbagai Grup Salinitas	33
Tabel 5.2	Seleksi Tanaman yang Memiliki Tingkat Toleransi Salinitas yang Sama	33
Tabel 5.3	Evaluasi Kualitas Air Irigasi	35
Tabel 6.1	Klasifikasi Putaran Head Sprinkler, Karakteristik serta Kesesuaiannya	54
Tabel 7.1	Koefisien dan Eksponen Aliran Bebas dan Tergenang pada Parshall Flume	73
Tabel 7.2	Dimensi Standard Terkalibrasi Trapezoidal Measuring Flume, ft	76
Tabel 7.3	Standard Persamaan Debit Terkalibrasi Trapezoidal Measuring Flume	77
Tabel 7.4	Faktor Koreksi Genangan untuk Standard Terkalibrasi Padan Trapezoidal Flume 1, 2 dan 3 dalam Tabel 7.2 dan 7.3	77

-oo0oo-

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 RUANG LINGKUP

Pada lahan yang mendapatkan suplai air dari sumber air alami yang tidak kontinyu dan hanya cukup untuk beberapa bulan, produktifitasnya sangat rendah, karena distribusi air tidak merata dan tidak tersedia sepanjang tahun. Masalah ini bisa diatasi dengan mengelola air tersebut, memanen air di musim hujan dengan membuat bendung atau waduk serta memanfaatkannya pada musim kemarau, sehingga air tersedia sepanjang tahun, dan akhirnya diharapkan produktifitas lahan bisa meningkat. Pengelolaan air di sini maksudnya adalah membangun sistem irigasi, mulai dari bendung, saluran pembawa, bangunan bagi, sampai dengan saluran tersier yang langsung dapat dimanfaatkan petani untuk mengairi lahannya.

Tanaman membutuhkan air untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Kebutuhan air untuk tanaman harus dipenuhi oleh air dalam tanah melalui sistem perakaran. Aplikasi pemberian air untuk memenuhi kebutuhan tanaman pada waktu dan cara yang tepat disebut Irigasi. Apabila kebutuhan air bagi tanaman dipenuhi dengan cara lain (curah hujan, air kapiler dari air tanah, dan sebagainya), maka irigasi tidak diperlukan. (Ali, 2010)

1.2 FUNGSI IRIGASI

Menurut James (1988), fungsi utama sistem irigasi adalah untuk mensuplai air irigasi untuk tanaman sesuai dengan jumlah dan waktu yang diperlukan.Secara spesifik fungsi irigasi adalah:

1. Mengambil air dari sumbernya (bendung, atau waduk)
2. Membawa air dari bendung ke daerah irigasi
3. Mendistribusikan air ke areal pertanian
4. Menyediakan sarana dan prasarana untuk pengukuran aliran.

Fungsi lain dari sistem irigasi adalah untuk: pendinginan tanah dan tanaman, pencegahan tanaman terhadap kerusakan akibat frost, penundaan pertumbuhan tunas dan buah, pengendalian erosi oleh angin, penyediaan air untuk persemaian, pemberian obat-obatan dan pemberian air limbah pada lahan.

1.3 MANFAAT IRIGASI

Irigasi bermanfaat untuk:

1. Menambah air untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman
2. Menjamin ketersediaan air sepanjang tahun
3. Mengontrol temperatur tanah, sehingga baik bagi pertumbuhan tanaman
4. Mencuci atau mengurangi kandungan garam dalam tanah
5. Mengurangi bahaya erosi
6. Memudahkan pengolahan tanah

Sedangkan menurut James (1988) air dibutuhkan tanaman adalah untuk proses-proses:

1. Metabolisme (Digestion)
2. Fotosintesa
3. Transport mineral (unsur hara) serta hasil fotosintesa (fotosintat)
4. Mendukung struktur tanaman
5. Pertumbuhan, dan
6. Transpirasi

Tanaman menggunakan air terutama untuk keperluan transpirasi, yaitu air yang diuapkan dari tanaman, sedangkan air yang diuapkan dari tanah disebut evaporasi . Karena evaporasi dan Transporasi ini sulit sekali dipisahkan maka pemakaianya selalu digabung menjadi Evapotranspirasi (ET), dan jumlahnya menurut Wilson (1962) dalam James (1988) mencapai lebih kurang 99% dari air yang digunakan tanaman. Karena itu kebutuhan air tanaman diasumsikan sama dengan besarnya evapotranspirasi.

1.4 SUMBER AIR IRIGASI

Sumber air untuk irigasi adalah:

1. Presipitasi
2. Air atmosfir selain presipitasi
3. Air limpasan
4. Air tanah, dan
5. Embun

Sumber air no. 1 s.d. 4 tersebut tidak bisa diabaikan di dalam memperkirakan kebutuhan air irigasi.

-oo0oo-

BAB II

HUBUNGAN TANAH, AIR DAN TANAMAN

Air sangat penting bagi hidup tanaman dan sering menjadi faktor membatas utama untuk produksi tanaman . Untuk pertumbuhan yang baik dan ekonomis, setiap tanaman harus mencapai keseimbangan antara permintaan dan suplai air yang tersedia. Masalahnya adalah Evapotranspirasi berlangsung terus, sedangkan suplai air dari hujan tidak kontinyu dan tidak beraturan. (James, 1988 dalam Rosadi, 2012).

Hubungan tanah, air dan tanaman dapat diringkas sebagai berikut: tanaman memerlukan air, tanah menyimpan air yang dibutuhkan tanaman, dan tanaman menarik air dari tanah untuk memenuhi kebutuhan ET (James, 1988 dalam Rosadi, 2012).

Untuk mempertahankan hidup selama masa kering antara hujan, tanaman harus menggunakan cadangan kandungan air pada pori-pori tanah atau pada akhirnya menggunakan cadangan air yang sangat terbatas pada jaringan tanaman. Bila hal ini terjadi kekurangan air tersebut menyebabkan kerusakan fungsi fisiologis. Lebih jauh lagi dehidrasi tanaman umumnya menyebabkan kerusakan yang tidak bisa diperbaiki dan mati (James, 1988; Rosadi, 2012).

2.1 TANAH

Tanah meyimpan air yang dibutuhkan tanaman. Tenaga matrik yang terdiri dari tenaga adsorpsi dan tenaga kapiler memegang sejumlah air didalam rongga antara partikel-partikel tanah, yang dapat dipindahkan dan digunakan tanaman . Karena itu dibutuhkan pemahaman tentang sifat-sifat fisik tanah.

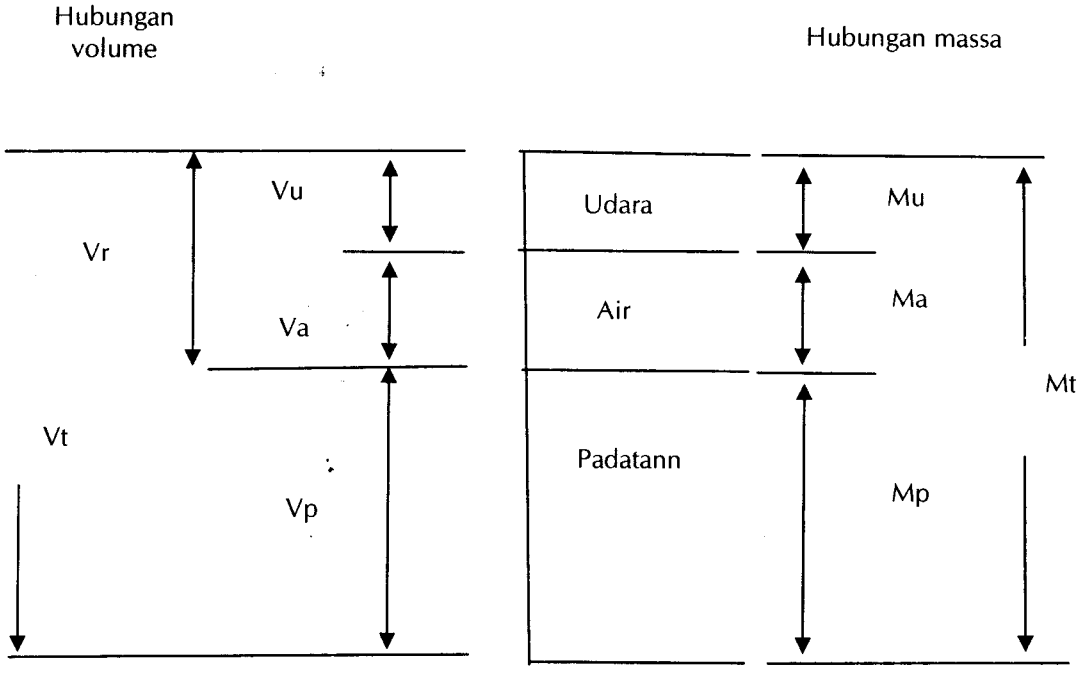
2.1.1 Sifat-sifat Fisik Tanah yang Memengaruhi Irigasi

Tanah adalah sistem tiga fasa yang terdiri dari fasa padat yang berupa mineral, bahan organik dan berbagai gabungan senyawa kimia; fasa cairan yang disebut kelembaban tanah dan fasa gas yang

disebut udara tanah. Komponen utama dari fasa padat adalah partikel tanah, ukuran dan bentuknya menimbulkan ruang pori geometri yang berbeda. Ruang pori ini diisi dengan air dalam berbagai proporsi, tergantung pada jumlah kelembabannya (Michael, 1978)

2.1.1.1 Hubungan massa dan volume tanah

Menurut Michael (1978) hubungan ketiga fase tersebut dapat dijelaskan dengan diagram seperti pada Gambar 2.1:



Gambar 2.1 *Diagram Skema Sistem Tiga Fase Tanah*

Keterangan gambar:

Mu = Massa udara
Ma = Massa air
Mp = Massa padatan
Mt = Massa total
Vu = Volume udara
Va = Volume air
Vf = Volume pori = (Vu + Va)
Vp = Volume padatan
Vt = Volume total

Dry bulk density (bobot volume tanah), ρb, adalah nisbah antara massa tanah dalam keadaan kering (Mp) dengan volume total tanah :

$$\rho b = \frac{M_p}{V_t} = \frac{M_p}{Vp + Vu + Va} \qquad 2.1$$

Total (wet) bulk density, ρt , adalah massa tanah lembab per volume:

$$\rho t = \frac{Mt}{Vt} = \frac{Mp + Ma}{Vp + Vu + Va} \qquad 2.2$$

Porosity, n, adalah nisbah volume pori dengan volume total tanah:

$$n = \frac{Vf}{Vt} = \frac{Vu + Va}{Vp + Vu + Va} \qquad 2.3$$

Porosity (Porositas) adalah indeks volume pori relatif yang dipengaruhi oleh tekstur dan struktur tanah. Porositas tanah berpasir (sandy soil) bervariasi dari 35 -50 %, sedangkan tanah liat bervariasi dari 40 – 60 %.

Void ratio, e, adalah nisbah antara volume pori dengan volume padatan, disebut juga porositas relatif:

$$e = \frac{Vf}{Vp} = \frac{Vu + Va}{Vp} \qquad 2.4$$

Dalam hal *void ratio*, total volume tanah berubah sesuai dengan perubahan volume *void*, sedangkan pada porositas, volume pori mungkin berubah tanpa perubahan volume padatannya.

Soil wetness (Kelembaban tanah) merujuk pada kandungan air relatif dalam tanah yang dapat dinyatakan sebagai: Kandungan air massa (w) atau kandungan air volume (θ). Yang dimaksud kandungan air massa (w) adalah nisbah antara massa cairan dengan massa tanah kering yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

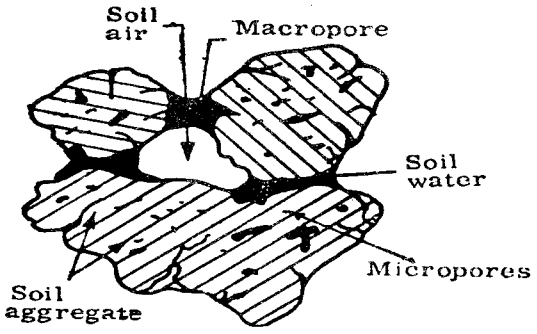
$$w = \frac{Ma}{Mp} x100\% \qquad 2.5$$

Sedangkan kandungan air volume (θ), adalah perbandingan antara volume air dan volume tanah yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\theta = \frac{Va}{Vp} x100\% \qquad 2.6$$

2.1.1.2 Hubungan air dan tanah

Mineral dan senyawa organik tanah membentuk matriks padat dengan celah berupa pori yang bentuknya tidak beraturan sebagai batas matriks (Gambar 2.2)

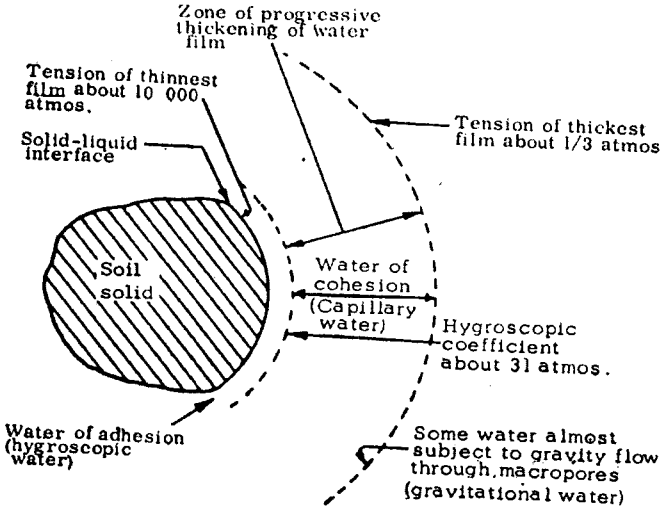


Gambar 2.2 *Kelembaban Tanah dan Cairan di Antara Agregat Tanah*

2.1.2 Klasifikasi Air Tanah

Menurut Michael (1978) ada tiga kelas utama air tanah, yaitu

1. Hygroscopic water, Air higroskopis, adalah air yang terikat kuat pada permukaan partikel tanah oleh gaya adsorpsi
2. Capillary water, air kapiler, adalah air yang terikat karena adanya gaya tegangan permukaan, merupakan lapisan tipis air di sekitar partikel tanah di dalam ruang kapiler
3. Gravitational water, Air gravitasi, adalah air yang bergerak bebas karena pengaruh gravitasi dan terdrainase secara vertikal.



Gambar 2.3 *Diagram yang Menunjukkan Perkembangan Penebalan Lapisan Air dalam Pori Makro dan Penurunan Tegangannya pada Permukaan Tanah yang Memegang Air*

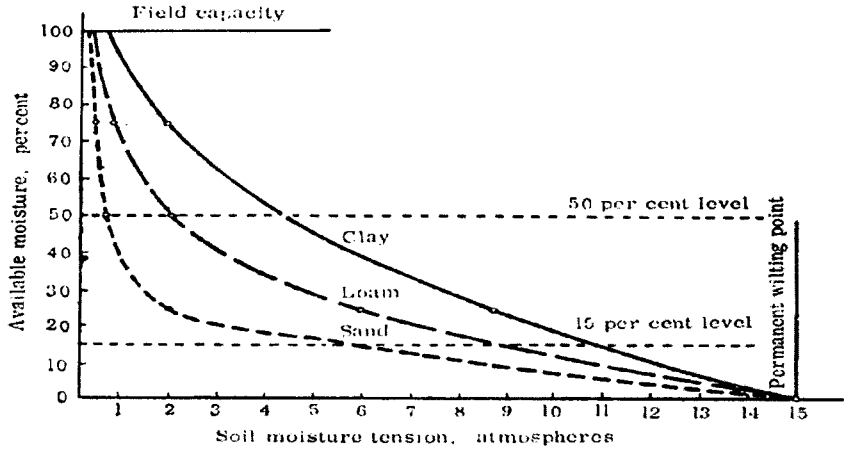
Adhesi adalah daya tarik permukaan padatan dengan molekul air. Kohesi adalah adaya tarik menarik antar molekul air. Gaya ini memungkinkan ketebalan air karena hidrasi samapai mencapai

ukuran mikro. Ketika lapisan air menjadi tebal dan lebih tebal, kekuatan gravitasi mulai bekerja dan air mengalir ke bawah melalui pori-pori besar. Jadi ketika mendekati jenuh sangat mudah untuk memindahkan airnya, tetapi ketika kelembaban tanah berkurang terus, maka semakin besar kekuatan yang diperlukan untuk memindahkan airnya. Gambar 2.3 merupakan diagram yang mengilustrasikan konsep tersebut diatas.

2.1.3 Karakteristik Air Tanah

Kurva karakteristik air tanah yang merupakan kurva hubungan antara kandungan air anah dan tegangan air tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 menunjukkan jumlah kadar air tanah pada berbagai jenis tanah pada berbagai tegangan. Pengetahuan tentang jumlah air yang bisa diikat oleh tanah pada berbagai tegangan sangat dibutuhkan untuk memahami jumlah air yang tersedia bagi tanaman, air yang dapat diambil dari tanah sebelum terjadinya perkolasi, dan jumlah air yang harus digunakan untuk irigasi.

Kurva karakteristik kelembaban pada Gambar 2.4 menunjukkan jumlah kelembaban pada tanah tertentu pada berbagai tegangan. Pengetahuan mengenai jumlah air yang ditahan oleh tanah pada berbagai tegangan diperlukan untuk memahami jumlah air yang tersedia bagi tanaman, air yang dapat diambil oleh tanah sebelum terjadinya perkolasi, dan jumlah air yang harus digunakan untuk irigasi.



(Sumber: USDA, SCS, National Engg. Handbook,1960 dalam Michael, 1978)

Gambar 2.4 Kurva Karakteristik Kelembaban pada Tanah-tanah Liat (Clay), Lempung (Loam) dan Berpasir (Sandy)

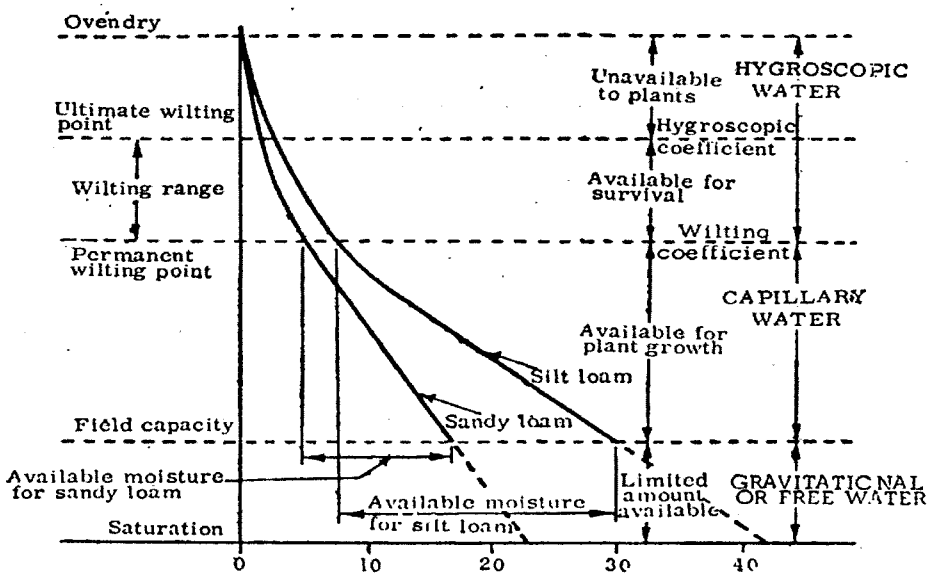
2.1.4 Konstanta Kelembaban Tanah

Menuru Michael (1978), kandungan air tanah tergantung pada derajat tekanan dan perbedaan tekanan uap yang menyebabkan kandungan air tanah tersebut bergerak. Dengan demikian

kandungan air tanah tidak bisa dikatakan konstant pada setiap tekanan. Namun demikian, berdasarkan percobaan ditemukan bahwa pada kandungan air tertentu air merupakan bagian yang penting dalam pertanian dan sering disebut kandungan air tanah *constants* seperti yang diuraikan berikut ini:

Saturation capacity, atau oleh Islami dan Utomo (1988) disebut juga sebagai Kapasitas Penyimpanan Air (KPA). Yaitu ketika semua pori-pori tanah telah dipenuhi oleh air, tanah dalam kondisi jenuh atau *Maximum water holding capacity*. Tekanan air pada saat jenuh mendekati nol dan sama dengan tekanan pada permukaan air bebas.

Field capacity, (Fc), kapasitas lapang, adalah kandungan air tanah setelah drainase air gravitasi menjadi sangat lambat dan kandungan air relatif stabil. Kondisi ini bisa dicapai setelah satu sampai tiga hari setelah tanah dibasahi oleh hujan atau irigasi. Pada saat Fc, pori-pori besar telah dipenuhi oleh udara, sedangkan pori-pori kecil dipenuhi oleh air. Fc adalah limit atas pada range air tanah tersedia dalam hubungan kandungan air tanah dan tanaman. Tekanan pada kondisi Fc bervariasi pada berbagai jenis tanah, namun umumnya bervariasi dari 1/10 sampai 1/3 atmosfer.



(Sumber: USDA, SCS, National Engg. Handbook,1960 dalam Michael, 1978)

Gambar 2.5 *Jenis Air Tanah dan Perbedaan Kandungan Air Tanah Tersedia Antara Tanah Berpasir (Sandy) dan Lempung Berdebu (Silt Loam)*

Permanent wilting percentage, Permanent wilting point (Pwp), Titik layu permanen, adalah kandungan air tanah pada saat tanaman tidak dapat memenuhi kebutuhan transpirasi, dan tanaman akan mati kalau tanah tidak diairi. Pada saat Pwp lapisan tipis air di sekeliling partikel tanah diikat sangat kuat oleh tanah sehingga akar tanaman tidak dapat menarik air pada laju yang cukup untuk

mencegah kelayuan daun tanaman. Tekanan air tanah pada saat Pwp bervariasi dari 7 sampai 32 atmosfer, tergantung tekstur tanah dan jenis dan kondisi tanaman, jumlah garam pada larutan tanah, dan iklim lingkungan. Kondisi ini tercapai ketika perubahan tekanan menghasilkan sedikit perubahan kandungan air tanah. Terjadi sedikit perubahan prosentase kandungan air tanah karena perubahan tekanan, karena itu disebut Pwp. Tekanan pada kondisi ini adalah 15 atm.

Gambar 2.5 menggambarkan tiga jenis air tanah dan perbedaan air tanah tersedia antara jenis tanah lempung berpasir (*sandy loam*) dan lempung berdebu (silt loam). Pada Gambar 2.5 tersebut terlihat bahwa jumlah air tanah tersedia (*available moisture*) pada lempung berdebu ± dua kali lipat air tanah tersedia pada lempung berpasir.

Tabel 2.1 *Kisaran Kapasitas Tanah Menahan Air Tanah Tersedia*

Soil type	Per Ceny Moisture, Based on Dry Weight of Soil		Depth of available Water Per Unit of Soil
	Field capacity	Permanent wilting point	Cm per metre depeth of soil
Find sane	3-5	1-3	2-4
Sandy loam	5-15	3-8	4-11
Silt loam	12-18	6-10	6-13
Clay loam	15-30	7-16	10-18
Clay	25-40	12-20	16-30

Sumber: Booher, 1967 dalam Michael, 1978)

2.2 AIR TANAH TERSEDIA

Konsep air tanah tersedia bagi tanaman telah merupakan isu kontroversial selama beberapa tahun yang lalu. Air tanah tersedia adalah air yang diikat oleh tanah antara kapasitas lapang (Field Capacity, FC) dan titik layu permanen (Permanent Wilting Point, PWP).

Penelitian saat ini telah membuktikan bahwa air tanah tersedia sebenarnya dapat berada dalam seluruh atau sebagian kisaran itu, tergantung pada sifat-sifat tanaman (perakaran, kerapatan, kedalaman, dan laju pertumbuhan) dan juga sangat tergantung pada keadaan mikroklimat yang ada (Doneen dan Wescot, 1988).

Veihmeyer dan Hendrickson (1927, dalam Hillel , 1971) mengatakan bahwa air tanah tersedia adalah kisaran kelembaban tanah antara batas teratas (fc) dan batas terbawah (pwp), dan keduanya dianggap konstan untuk setiap jenis tanah. Mereka menyatakan bahwa fungsi tanaman tidak dipenggaruhi oleh penurunan kelembaban tanah sampai pwp dicapai yaitu pada saat aktivitas tanaman yang normal tiba-tiba dibatasi.

Richards dan Wadleigh (1952, dalam Hillel, 1971) menemukan bahwa ketersedianya air tanah untuk tanaman benar-benar menurun dengan menurunnya kelembaban tanah , dan tanaman mungkin menderita cekaman air serta pertumbuhan sangat menurun sebelum pwp tercapai.

Hillel (1971,dalam Lal & greenland) menyatakan bahwa pola dan kecepatan pengembalian air oleh tanaman tidak tergantung pada kadar dan potensial air tanah saja. Pengambilan air oleh tanaman dan status air tergantung kombinasi kemampuan sistem perakaran menyerap air dari tanah, kemampuan tanah menyuplai dan meneruskan air keperakaran, serta kecepatan transpirasi yang dibutuhkan oleh iklim. Proporsi dari total air tanah tersedia yang menipis tanpa menyebabkan evapotranspirasi aktual (ETa) menjadi < evapotranspirasi maksimum (ETm) disebut fraksi (p) dari total air tanah tersedia .

Nilai (p) menurut Doorenbos dan Kasam (1979) dalam Rosadi (2012) tergantung pada: 1) Tanaman, 2) Besarnya ETm, dan 3) Tanah.

1. Faktor tanaman
   Tanaman dapat dikelompokkan sesuai dengan fraksi (p) dari total air tanah tersedia (Sa) yang dapat menipis sambil memelihara agar ETa=ETm (Tabel 2.a.). Nilai (p) bervariasi sesuai dengan periode pertumbuhan dan umumnya lebih besar pada masa pemasakan karena rendahnya ETm akibat dari rendahnya nilai koefisien tanaman (kc).
2. Faktor ETm
   Fraksi (p) dari tanah tersedia dimana ETa = ETm bervariasi sesuai dengan besarnya ETm (Tabel 2.b.)
3. Faktor tanah
   Air pada tanah bertekstur ringan lebih mudah diambil oleh tanaman dari pada tanah yang bertekstur berat.

Tabel 2.2.a *Pengelompokan Tanaman Menurut Penipisan Air Tanah (Soil Water Depletion)*

Kelompok	Tanaman
1	Bawang, cabe, kentang
2	Pisang, kubis, anggur,"pea", tomat
3	Alfalfa , kacang - kacangan , jeruk , gandum kacang tanah , nenas , bunga matahari , melon ,
4	Kapas , jagung , " olive " , " safflower ", sorgum , kedelai , " sugarbeet ", tebu , tembakau

Sumber: Doorenbos dan kassam (1979)

Walaupun tanaman secara teoritis dapat mengambil air dari tanah pada kandungan air diatas pwp, laju transpiransi aktual menurun sejalan dengan menutupnya stomata sebagai respons terhadap penurunan kandungan air tanah.

Turunnya transpiransi aktual sehubungan dengan pengurangan kandungan air tanah antara kapasitas lapang (fc) dan kandungan air tanah kritis (θ_c) menunjukkan bahwa air lebih tersedia dan tanaman memberikan hasil dan kualitas yang tinggi pada kisaran ini dari pada kandungan air tanah antara θ_c dan pwp.

Tabel 2.2.b *Besarnya Fraksi (p) Penipisan Air Tanah (Soil Water Depletion) untuk Berbagai Kelompok Tanaman dan ETa*

Kelompok Tanaman	E T m (mm/hari)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0. 50	0. 425	0. 35	0. 30	0. 25	0. 225	0. 20	0. 20	0. 175
2	0. 675	0. 575	0. 475	0. 40	0. 35	0. 325	0. 275	0. 25	0. 225
3	0. 80	0. 70	0. 60	0. 50	0. 45	0. 475	0. 375	0. 35	0. 30
4	0. 875	0. 80	0. 70	0. 60	0. 55	0. 50	0. 45	0. 425	0. 40

Sumber: Doorenboos dan Kassam (1979)

Volume air tanah antara fc dan θ_c disebut air segera tersedia (Readily available water, RAW) sedangkan antara fc dan pwp disebut air tersedia (Available water, AW). James (1988) mengemukakan konsep defisiensi maksimum yang dibolehkan (Maximum allowable deficiency, MAD) untuk menduga jumlah air yang dapat digunakan tanpa pengaruh yang merugikan tanaman.

$$MAD = \frac{RAW}{AW} \qquad 2.7$$

di mana ,
MAD = Maximum Allowable Deficiency
RAW = Readily Available Water
Aw = Available Water

Konsep MAD dari James (1988) ini sama dengan konsep fraksi penipisan air (p) dari Doorenboos dan Kassam (1979)

2.3 TANGGAPAN HASIL TERHADAP AIR

Menurut Doorenboss dan Kassam (1979) untuk mengetahui tanggapan hasil terhadap air, perlu dibuat hubungan antara penurunan hasil relatif dan evapotranspirasi defisit dengan menggunakan persamaan berikut:

$$1-Y_a/Y_m = K_y\,(1-ET_a/ET_m) \quad (2.8)$$

di mana $1-Y_a/Y_m$ adalah penurunan hasil relatif, $1-ET_a/ET_m$ adalah defisit evapotranspirasi relatif, K_y adalah faktor tanggapan hasil, ET_a adalah evapotranspirasi aktual, dan ET_m adalah evapotranspirasi maksimum.

Nilai K_y mengindikasikan apakah tanaman tersebut toleran terhadap cekaman air. Nilai $K_y > 1$ menunjukkan bahwa penurunan hasil relatif yang diharapkan pada defisit evapotraspirasi tertentu secara proporsional lebih besar dari pada penurunan relatif evapotranspirasi (Kirda *et al.*, 1999a, dalam FAO, 2000). Tabel 2.3 menunjukkan nilai faktor tanggapan hasil (K_y) yang penurunan hasilnya secara proporsional lebih kecil dari defisit evapotranspirasi relatif pada beberapa komoditas.

Defisit air pada tingkat tertentu, menunjukkan rasio antara evapotranspirasi aktual (ET_a) dan evapotranspirasi maksimum (ET_m), yang keduanya mungkin terjadi secara kontinyu pada seluruh periode tumbuh atau mungkin hanya pada salah satu periode tumbuh, misalnya periode awal, vegetatif, pembungaan, pembentukan polong, atau panen.

Pengaruh defisit air terhadap hasil tanaman secara umum secara skematis disajikan untuk seluruh periode tumbuh (Gambar 2.6) dan periode tumbuh tertentu (Gambar 2.7). Secara umum, untuk seluruh periode tumbuh, penurunan hasil secara proporsional berkurang dengan menaiknya deficit air ($K_y < 1$) untuk tanaman seperti *alfalfa, groundnut, safflower* dan *sugar beet* (Group I); *alfalfa, cabbage, citrus, cotton, grape, sorghum, soybean, sugar beet, sunflower, tobacco, wheat* (Group II) *sedangkan untuk tanaman-tanaman seperti bean, citrus, onion, pea, pepper, potato, tomato, water melon, and wheat* (Group III); *banana, maize* dan *sugarcane* (GroupIV) secara proporsional lebih besar ($K_y > 1$). Untuk periode tumbuh tertentu penurunan hasil karena defisit air pada periode pertumbuhannya, relatif kecil pada periode vegetatif dan pemasakan, dan relatif besar pada periode pembungaan dan pembentukan polong.

Defisit air pada periode tertentu dapat juga dinyatakan sebagai defisit air total periode tumbuh bila diketahui hubungan antara evapotranspirasi (ET_m) pada periode tumbuh tersebut dan ET_m pada total periode pertumbuhan. Nilai K_y sebagian besar tanaman diturunkan dengan asumsi bahwa hubungan antara hasil relatif (Y_a/Y_m) dan evapotranspirasi relatif (ET_a/ET_m) adalah linier dan *valid* untuk defisit air sampai dengan 50% atau $1 - ET_a/ET_m = 0.5$.

Tanggapan hasil terhadap air (Yield response to water) adalah hubungan antara hasil tanaman dan pasokan air bagi tanaman. Hubungan tersebut menunjukkan tanggapan hasil yang berbeda bila pasokan air bagi tanaman berbeda. Karena itu untuk hasil tanaman, dikenal hasil tanaman maksimum (maximum yield, Ym) dan hasil tanaman aktual (actual yield, Ya), sedangkan pasokan air bagi tanaman merupakan air yang diberikan kepada tanaman sesuai dengan kebutuhannya yang dikenal sebagai kebutuhan air tanaman (*crop water requirement*, CWR).

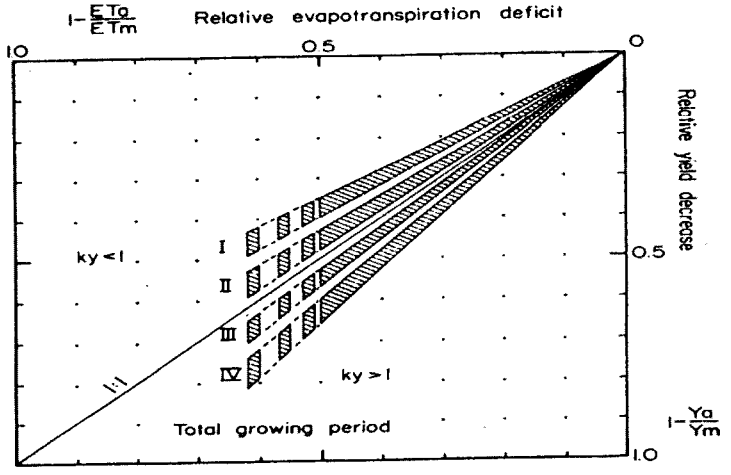
Tabel 2.3 *Faktor Tanggapan Hasil (K_y) Beberapa Tanaman Budidaya*

Tanaman	Fase Vegetatif			Fase Pembu-ngaan	Fase Pem-bentukan buah	Fase Pema-tangan	Rata-rata
	Awal	Akhir	Total				
Alfalfa			0,7-1,1				0,7-1,1
Anggur							0,85
Bawang			0,45		0,8	0,3	1,1
Buncis			0,2	1,1	0,75	0,2	1,15
Bit gula							0,6-1,1
B.matahari	0,25	0,5		1,0	0,8		0,95
Jagung			0,4	1,5	0,5	0,2	1,25

Tabel 2.3 *Faktor Tanggapan Hasil (K_y) Beberapa Tanaman Budidaya (Lanjutan)*

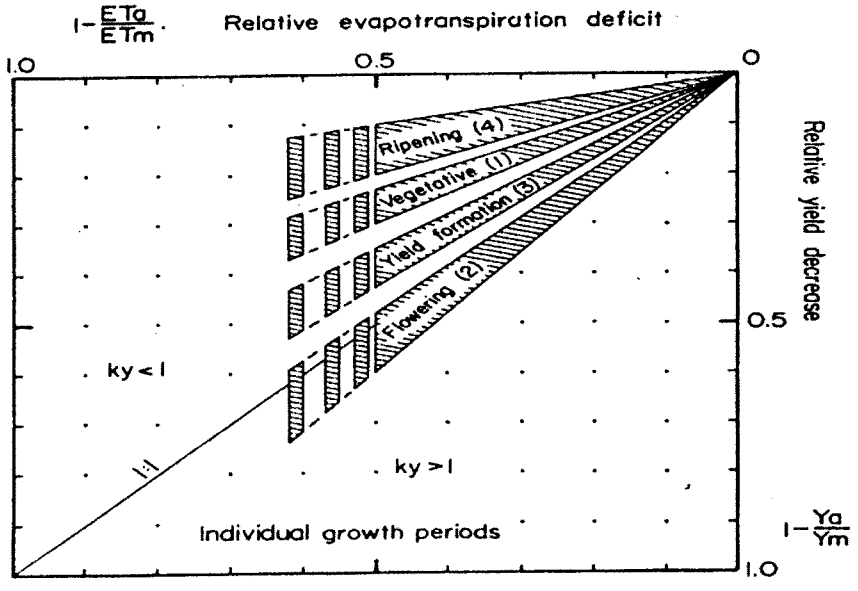
Tanaman	Fase Vegetatif			Fase Pembu-ngaan	Fase Pem-bentukan buah	Fase Pema-tangan	Rata-rata
	Awal	Akhir	Total				
Jeruk							0,8-1,1
Kc tanah			0,2	0,8	0,6	0,2	0,7
Kapas			0,2	0,5		0,25	0,85
Kedelai			0,2	0,8	1,0		0,85
Kentang	0,45	0,8			0,7	0,2	1,15
Cabai							1,1
Kapri	0,2			0,9	0,7	0,2	1,15
Pisang			0,7-1,1				0,7-1,1
Safflower			0,3	0,55	0,60		0,8
Semangka	0,45	0,7		0,8	0,8	0,3	1,1
Sorgum			0,2	0,55	0,45	0,2	0,9
Tebu			0,75		0,5	0,1	1,2
Tembakau	0,2	1,0			0,5	0,5	0,9
Tomat			0,4	1,1	0,8	0,4	1,05
Gandum -M. dingin -M. semi		 0,2 0,2	 0,6 0,65	 0,5 0,55			 1,0 1.15

Sumber : Doorenbos dan kassam (1979) dalam Islami dan Utomo (1995)



Gambar 2.6 *Hubungan Antara Penurunan Hasil Relatif (1- Y_a/Y_m) dan Evapotranspirasi Relatif (1- ET_a/ET_m) untuk Periode Total Pertumbuhan*

Hasil tanaman maksimum (Ym) adalah hasil tanaman yang diperoleh maksimum karena pasokan air sepenuhnya dapat memenuhi kebutuhan air tanaman, dengan asumsi faktor-faktor pertumbuhan lainnya (misalnya, pupuk, hama dan penyakit) terpenuhi; sedangkan hasil aktual (Ya) adalah hasil tanaman aktual sesuai dengan pasokan air yang tidak dapat memenuhi kebutuhan air sepenuhnya, dengan asumsi faktor-faktor pertumbuhan lainnya (misalnya, pupuk, hama dan penyakit) terpenuhi.



Gambar 2.7 *Hubungan Antara Penurunan Hasil Relatif (1- Y_a/Y_m) dan Evapotranspirasi Relatif (1- ET_a/ET_m) untuk Periode Pertumbuhan Tertentu*

-oo0oo-

BAB III

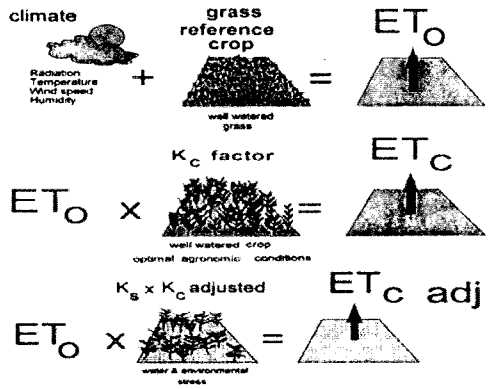
KEBUTUHAN AIR DAN EFISIENSI IRIGASI

3.1 KEBUTUHAN AIR TANAMAN

Air dibutuhkan oleh tanaman untuk keperluan konsumsi atau dikenal dengan istilah *Consumptive Use* (CU), yaitu air yang digunakan untuk Evapotranspirasi (ET) dan proses-proses metabolisme tanaman. Karena air yang digunakan pada proses metabolisme ini kurang dari 1%, maka CU dianggap sama dengan ET.

Konsep Evapotranspirasi (Allen *et.al*, 1998)

Perbedaan antara *reference srop evapotranspiration* (ET_o), *crop evapotranspiration under standar* conditions (ET_c) dan *crop evapotranspiration under non-standard conditions* ($ET_{c\ adj}$) dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Evapotranspirasi Tanaman Acuan (ET_o), Evapotranspirasi Tanaman di bawah Kondisi Standard (ET_c) dan Non-Standard ($ET_{c\ adj}$)*

ET_o merupakan parameter iklim yang menunjukkan tenaga atmosfir untuk evaporasi. ET_c menunjukkan ET dari areal tanaman yang luas, pengairannya baik dan pengelolaannya yang sangat baik serta mencapai hasil ang maksimal di bawah kondisi iklim tertentu. Karena hambatan kurang optimalnya lingkungan dan manajemen tanaman yang memengaruhi pertumbuhan tanaman dan membatasi ET, ET_c *under non-standard conditions* umumnya memerlukan koreksi.

***Reference Crop Evapotranspiration* (ET_o)**

Laju ET dari permukaan acuan, dan tidak kekurangan air disebut *reference crop evapotranspiration* atau *reference evapotranspiration* dengan notasi ET_o. Permukaan acuan adalah tanaman rumput acuan dengan karakteristik spesifik. Penggunaan istilah lain seperti potential ET sangat tidak mendukung karena definisi tersebut bersifat ambigu.

Konsep *reference evapotranspiration* telah memperkenalkan studi evaporasi yang dibutuhkan oleh atmosfir secara independen pada berbagai jenis tanamnan, fase pertumbuhan dan praktek pengelolaannya. Bila air tersedia berlebihan evapotranspirasi permukaan acuan, faktor tanah tidak memengaruhi ET. Menghubungkan ET dengan permukaan khusus memberikan acuan bagi ET dari permukaan lainnya. Kebutuhan untuk mendefinisikan secara terpisah tingkat ET untuk setiap tanaman dan tahap perkembangannya **sangat dirasakan**. Pengukuran atau perhitungan ET_o pada lokasi atau musim yang berbeda dapat dibandingkan kalau mengacu pada ET dari permukaan acuan yang sama.

ET_o hanya dipengaruhi oleh parameter-parameter iklim. Konsekuansinya, ET_o dapat dihitung dari data cuaca. ET_o menunjukkan proses evaporasi oleh kekuatan atmosfir pada lokasi yang spesifik dan wakatu sepanjang tahun, serta tidak mempertimbangkan faktor karakteristik tanaman dan tanah. Metode Penman-Monteith direkomendasikan sebagai metode terbaik untuk menentukan ET_o. Metode tersebut terseleksi karena ET_o diperkirakan dari rumput di lokasi yang berdekatan, secara fisik, dan secara jelas parameter-parameter physiologis dan aerodinamik termasuk dalam perhitungan. Lebih jauh lagi telah dikembangkan prosedur untuk menduga parameter iklim yang hilang.

Evapotranspirasi dapat ditentukan dengan metode pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung, yaitu dengan menghitung dari data iklim dan tanaman.

3.1.1 Pengukuran Evapotranspirasi Secara Langsung

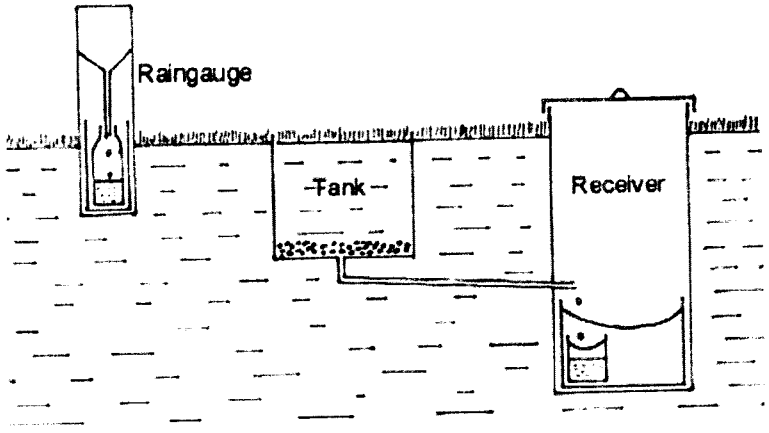
Menurut Michael (1978) terdapat empat metode pengukuran ET secara langsung yaitu:

a. Lysimeter (*Lysimeter experiment*)
b. Petak percobaan dilapangan (*Field experimental plots*)
c. Studi penipisan kelembaban tanah (*Soil Moisture depletion studiest*)
d. Neraca air (*water balance*)

Metode-metode tersebut biayanya sangat mahal dan memerlukan waktu yang lama.

a. Lysimeter

Metode Lysimeter adalah pengukuran ET dengan mengukur kehilangan air dari tumbuhan yang ditanam pada bak (Container). Dengan metode ini tanah dan tanaman dalam bak diisolasi dari pengaruh hidrologis sekelilingnya (Gambar 3.2).



(Sumber: Woodka, 2011)

Gambar 3.2 *Perlengkapan Lysimeter untuk Mengukur Evapotranspirasi*

Evapotranspirasi dihitung dengan persamaan:

$$\mathbf{ET = CH + IR - P \pm \Delta S} \qquad 3.2$$

di mana:

ET = Evapotranspirasi
CH = Curah hujan
IR = Irigasi
P = Perkolasi
ΔS = Perubahan kadar air tanah

b. Petak Percobaan di Lapangan

Metode petak percobaan di lapangan adalah pengukuran ET dengan pengukuran suplai air dan perubahan kandungan kelembaban tanah pada suatu petak tanah dan kadang-kadang tergantung pada perhitungan kebutuhan air selama semusim (*Seasonal water Requirement,* SWR) dari tanaman. SWR dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\mathbf{WR = IR + ER + \sum_{i=1}^{n} \frac{M_{bi} - M_{ei}}{100} x A_i D_i} \qquad 3.2$$

MILIK
Badan Perpustakaan & Kearsipan
Provinsi Jawa Timur

di mana:

WR = Kebutuhan air semusim, mm
IR = Jumlah total air irigasi yang diberikan, mm
ER = Curah hujan efektif semusim, mm
M_{bi} = Prosentase kelembaban diawal musim pada lapisan tanah ke - i
M_{ei} = Prosentase kelembaban diakhir musim pada lapisan tanah ke - i
A_i = *Apparent spesifik gravity* pada lapisan tanah ke - i
D_i = Kedalam lapisan tanah ke - i di dalam daerah perakaran, mm
n = Jumlah lapisan tanah dalam daerah perakaran D

c. Studi Penipisan Kelembaban Tanah

Metode studi penipisan kelembaban tanah biasanya digunakan untuk menentukan CU tanaman di daerah irigasi yang tumbuh pada tanah yang mendekati seragam. CU atau U dihitung dengan mengunakan rumus:

$$U = \sum_{i=1}^{n} \frac{M_{1i} - M_{2i}}{100} A_i D_i \qquad 3.3$$

di mana:

U = Air yang digunakan dari daerah perakaran untuk sampel yang berganti secara periodik atau di dalam satu putaran irigasi, mm.
n = Jumlah lapisan tanah sampel di daerah perakaran pada ke dalam D
M_{1i} = Prosentase kelembaban tanah sampel pertama pada lapisan ke i
M_{2i} = Prosentase kelebaban tanah sampel kedua pada lapisan ke i
A_i = *Apparent specific grafity* lapisan tanah ke i
D_i = Ke dalam lapisan tanah ke i, mm.

d. Neraca Air

Neraca air, disebut juga sebagai metode inflow-outflow, cocok untuk areal yang luas untuk periode yang panjang.

Persamaan neraca air tersebut:
Presipitasi = Evapotranspirasi + Aliran permukaan + drainase bawah permukaan + perubahan kandungan air tanah.

Metode ini memerlukan pengukuran yang tepat untuk semua faktor, kecuali Evapotranspirasi. ET dihitung dari data-data yang diukur.

3.1.2 Pengukuran Evapotranspirasi Secara Tidak Langsung

Pengukuran ET secara tidak langsung ialah dengan menggunakan rumus-rumus empirik dan berdasarkan data iklim dan tanaman. Untuk itu perlu dipahami dahulu pengertian *Reference Crop Evapotranspiration* (ET_o), *Crop Evapotranspiration* (ET_c), dan Koefisien tanaman (K_c).

Menurut Allen *et.al.* (1998) *Reference Crop Evapotranspiration* (ET_o) adalah Evapotranspirasi dari pemukaan acuan. Permukaan acuan tersebut adalah tanaman rumput dengan tinggi 0,12 m, tahanan permukaan 70 s m^{-1}, dan albedo 0,23, tanaman menutup sempurna serta ditanam di areal yang luas, pengairannya baik dan pertumbuhannya aktif serta tingginya seragam.

Menurut Allen *et.al.* (1998) Evapotranspirasi tanaman (ET_c), adalah *Crop evapotranspiration under standard condition* ditulis dengan notasi ET_c, dan definisi ET_c tersebut adalah ET dari tanaman yang bebas penyakit, pupuknya baik, tumbuh di areal luas, di bawah kondisi air tanah yang optimum, dan mencapai produksi maksimal di bawah kondisi iklim tertentu.

Di samping itu juga dihitung $ET_{c\ adj}$ dengan menggunakan *water stress coefficient* K_s dan atau dengan menyesuaikan K_c untuk berbagai macam *stress* (cekaman) dan hambatan lingkungan terhadap ET tanaman.

Hubungan antara $ET_{c\ adj}$, ET_c dan ET_o dinyatakan dengan persamaan:

$$ET_c = K_c \times ET_o \qquad 3.4$$

$$ET_{c\ adj} = Kc \times Ks \times ET_o \qquad 3.5$$

di mana: K_c = koefisien tanaman
Ks = koefisien stress

Dengan demikian untuk menghitung $ET_{c\ adj}$, terlebih dahulu harus diketahui nilai ET_o, Kc dan Ks nya.

Terdapat empat metode untuk menghitung ET_o: a) Blaney –criddle, b) Radiasi, c) Penman, dan d) Panci evaporasi.

Dari keempat metode tersebut yang paling teliti adalah metode Panci evaporasi, namun metode ini sangat mahal karena harus melakukan pegukuran langsung di lapangan, sedangkan metode Penman merupakan metode empiris yang paling teliti. Metode Penman tersebut terus berkembang dan terus menerus diperbaiki dan terakhir pada tahun 1990, FAO (*Food and* Agriculture Organization), bekerjasama dengan ICID (*International Commission for Irrigation and Drainage*, serta WMO (*World Meteorologival Organization*) telah meninjau ulang metode penentuan ET_o dan merekomendasikan untuk menggunakan formula FAO Penman-Monteith.

Metode Penman – Monteith tersebut adalah:

$$\mathbf{ET_0} = \frac{0.408\Delta(\mathbf{R_n} - \mathbf{G}) + \gamma \dfrac{900}{\mathbf{T}+273}\mathbf{U_2}(\mathbf{e_s} - \mathbf{e_a})}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mathbf{U_2})} \qquad 3.6$$

di mana:

ET_o = Evapotranspirasi acuan (mm hr-1),
Rn = *Net radiation* pada permukaan tanaman (MJ m-2day - 1),

G = *Soil heat flux density* (MJ m-2day - 1),
T = Temperatur udara harian rata-rata pada ketinggian 2 meter (°C),
U_2 = Kecepatan pada ketinggian 2 meter (m s-1),
e_s = Tekanan uap jenuh (kPa),
e_a = Tekanan uap aktual (kPa),
e_s-e_a = Defisit tekanan uap jenuh (kPa),
Δ = Kemiringan kurva-tekanan uap (kPa °C-1),
γ = Tetapan *psychrometric* (kPa °C-1).

3.2 KEBUTUHAN AIR IRIGASI

Kebutuhan air irigasi adalah kedalaman air irigasi yang diberikan pada suatu lahan pertanian untuk memenuhi kekurangan air karena terbatasnya curah hujan dan kelembaban tanah. Kebutuhan air irigasi untuk tanaman adalah kedalaman air yang dibutuhkan untuk memenuhi kehilangan air karena ET agar tanaman tumbuhan pada lahan yang luas dengan kandungan air tanah dan kesuburan yang tidak terhambat, bebas penyakit serta mencapai produksi potensialnya (Doorenbos dan pruitt, 1977).

Kebutuhan air irigasi (I) menurut Larry G James (1988) diduga dengan persamaan:

$$I = ET - P_e + RO_i + DP_i + L + D_{rz}(\theta_f - \theta_i) \qquad 3.7$$

di mana:

ET = Evapotranspirasi
P_e = Curah hujan efektif
RO_i = Aliran permukaan karena irigasi
DP_i = Perlokasi dalam karena irigasi
L = Kebutuhan air untuk pencucian.
D_{rz} = Kedalaman daerah perakaran .
θ_f = Kelembaban pada kondisi kapasitas lapang .
θ_i = Kelembaban pada kondisi awal irigasi

Sedangkan menurut Michael (1978) kebutuhan air irigasi (IR):

$$IR = WR - (ER + S) \qquad 3.8$$

di mana:
WR = ETc + *Application losses* + *special needs*
ER = Curah hujan efektif
S = Kontribusi air dari profil tanah

Pada lahan kering, kebutuhan air irigasi merupakan air yang dibutuhkan untuk meningkatkan kelembaban tanah pada daerah perakaran yang efektif ke kondisi kapasitas lapang.

Kebutuhan air irigasi (*Net irrigation Requirement*, NIR) adalah kedalaman air irigasi, di luar hujan, untuk menggantikan kelembaban tanah yang dibutuhkan oleh tanaman berproduksi. NIR adalah jumlah air irigasi yang dibutuhkan untuk menjadikan tingkat kelembaban tanah pada zone perakaran efektif ke kapasitas lapang (Michael, 1978)

Kebutuhan air irigasi (*Net Irigation Requirement*) menurut Michael (1978) diduga dengan persamaan:

$$d = \sum_{i=1}^{n} \frac{M_{fc_i} - M_{b_i}}{100} A_i D_i \qquad 3.9$$

di mana:

d = Jumlah air yang diberikan selama irigasi, cm
M_{fci} = Kelembaban tanah dalam keadaan kapasitas lapang pada lapisan tanah ke i, %.
M_{bi} = Kelembaban tanah sebelum irigasi pada lapisan tanah ke i, %
A_i = Kerapatan lindak lapisan tanah ke i
D_i = Kedalaman lapisan tanah ke i di dalam daerah perakaran, cm.
n = Jumlah lapisan tanah didaerah perakaran

Gross Irrigation Requirement (GIR) adalah jumlah total air yang diberikan melalui irigasi. GIR adalah NIR ditambah dengan kehilangan pada waktu aplikasi atau kehilanga lainnya. GIR tersebut menurut Michael (1978) dihitung dengan formula:

$$\mathbf{GIR} = \frac{\mathbf{NIR}}{\mathbf{Efisiensi.sistem.irigasi}(\%)} \qquad 3.10$$

3.3 EFISIENSI IRIGASI

Efisiensi irigasi menyatakan tingkat efisiensi suplai air tersedia yang digunakan, berdasarkan berbagai metode evaluasi. Desain sistem irigasi, tingkat penyiapan lahan, keterampilan serta kepedulian Irigator merupakan faktor-faktor utama yang memengaruhi efisiensi irigasi. Kehilangan air irigasi sering terjadi pada sistem penyaluran dan distribusi, distribusi air yang tidak seragam di lahan, perkolasi bawah zone perakaran, dan pada pada sprinkler adanya evaporasi saat penyemprotan dan tegangan air pada dedaunan. Pada lahan yang luas kehilangan dapat tetjadi berupa aliran permukaan pada ujung border atau alur. Kehilangan ar dapat diminimalkan denga perencanaan sistem irigasi yang memadai, desain metode irigasi yang tepat, penyiapan lahan dan efisiensi sistem operasi yang memadai. (Michael, 1978).

Menurut James (1988) efisiensi irigasi merupakan salah satu parameter dari kinerja irigasi (*performance of irrigation system*). Parameter lainnya adalah keseragaman (*uniformity*) dan ketepatan (*adequacy*).

Efisiensi Irigasi tersebut menurut Michael (1978) di antaranya adalah:

a. Efisiensi penyaluran air (*Water Conveyance Efficiency*)
b. Efisiensi penyimpanan air (*Water Storage Efficiency*)
c. Efisiensi distribusi air (*Water Distribution Efficiency*)
d. Efisiensi Pengunaan air (*Water Use Efficiency*)

3.3.1 Efisiensi Penyaluran Air

Efsiensi penyaluran air (*Water Conveyance Efficiency*) adalah efisiensi sistem penyaluran pada jaringan saluran termasuk saluran di lahan yang dinyatakan dengan persamaan:

$$E_c = \frac{W_f}{W_d} x100 \qquad 3.11$$

di mana:

E_c = Efisiensi penyaluran air, %
W_f = Air yang disalurkan ke lahan
W_a = Air yang dialihkan dari sumber

3.3.2 Efisiensi Pemberian Air

Efisiensi pemberian air (*Water Application Efficiency*) adalah rasio antara volume air tersimpan pada zone perakaran dengan air yang disalurkan ke lahan yang dinyatakan dengan persamaan:

$$\mathbf{E_a = \frac{W_s}{W_f} x100} \qquad 3.12$$

di mana:

E_a = Efisiensi pemberian air, %
W_s = Air yang disimpan pada zone perakaran
W_f = Air yang disalurkan ke lahan

3.3.3 Efisiensi Penyimpanan Air

Efisiensi penyimpanan air (*Water Storage Efficiency*) adalah rasio antara air yang tersimpan pada zone perakaran selama irigasi dengan air yang dibutuhkan tanaman pada zone perakaran menjelang irigasi yang dinyatakan dengan persamaan:

$$\mathbf{E_s = \frac{W_s}{W_n} x100} \qquad 3.13$$

di mana:

E_s = Efisiensi penyimpanan air, %
W_s = Air yang tersimpan pada zone perakaran selama irigasi
W_n = Air yang dibutuhkan tanaman pada zone perakaran menjelang irigasi

3.3.4 Efisiensi Distribusi Air

Efisiensi distrribusi air (*Water Distribution Efficiency*) merupakan nilai yang menunjukkan keseragaman distribusi air di lahan. Nilai tersebut didefinisikan seperti pada persamaan berikut:

$$E_d = (1-\frac{\overline{y}}{\overline{d}})x100 \qquad 3.14$$

di mana:

E_d = efisiensi distribusi air, %

$\overline{d}$ = kedalaman air rata-rata yang tersimpan selama irigasi

$\overline{y}$ = nilai rata-rata deviasi dari $\overline{d}$

3.3.5 Efisiensi Penggunaan Air

Efisiensi penggunaan air (*Water Use Efficiency*) adalah efisiensi penggunaan air oleh tanaman yang dapat dinyatakan sebagai efisiensi pengunaan air untuk tanaman (*Crop Water Used Eficiency*) dan dan efisiensi penggunaan air di lahan (*Field Water Used Efficiency*).

1. Efisiensi penggunaan air untuk tanaman (*Crop Water Used Efficiency*) adalah rasio antara hasil tanaman (Y) dengan sejumlah air yang digunakan untuk evapotranspiras (ET) yang dinyatakan dengan persamaan berikut

$$\textit{Water used efficiency} = \frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{ET}} \qquad 3.15$$

2. Efisiensi penggunaan air di lahan (*field water used efficiency*) adalah rasio hasil tanaman (Y) dengan jumlah total air nyang digunakan di lahan (WR) yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\textit{Field water used efficiency} = \frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{WR}} \qquad 3.16$$

Ke empat parameter efisiensi tersebut di atas bila diakumulasikan, merupakan nilai efisiensi total dari suatu sistem irigasi. Sedangkan James (1988) mendefinisikan efisiensi total sistem irigasi sebagai *overall system eficiency* yang dinyatakan dengan persamaanberikut:

$$\mathbf{E_i} = 100(\frac{\mathbf{I+L}}{\mathbf{S}}) \qquad 3.17$$

atau

$$\mathbf{E_i} = 100(\frac{\mathbf{S-DP-RO-O}}{\mathbf{S}}) \qquad 3.18$$

dimana:

E_i = Efisiensi irigasi, %
I = Kebutuhan air irigasi (*Irrigation requirement*)
L = Kebutuhan air untuk pencucian (*Leaching requirement*)
S = Jumlah air yang diberikan ke lahan (*amount of water suplies to the farm*)
DP = Perkolasi pada lahan (*total deep percolation on farm*)
RO = Total aliran permukaan dari lahan (*Total runoff from farm*)
O = Kehilangan air waktu operasi (*operasional losses*)

Efisiensi irigasi, khususnya efisiensi pemberian air (*water application efficiency*) terutama dipengaruhi oleh pengelolaan irigasi. Pencapaian efisiensi penggunaan air pada berbagai sistem irigasi pada kondisi normal disajikan pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 *Efisiensi Pemeberian Air (Application Efficiency) pada Berbagai Sistem Irigasi*

Sistem Irigasi	Kisaran Efisiensi (%)
Irigasi permukaan	
Border	75 – 85
Basin	80 – 90
Basin	65 – 80
Irigasi curah	
Solid set atau *permanen*	75 – 85
Hand move atau *portabel*	75 – 85
Center pivot dan *linear move*	75 – 90
Traveling gun	65 – 75
Irigasi Tetes	
Point source emitter	80 – 90
Line source	75 – 85

Sumber: Solomon (1988) dalam Ali (2010)

-oo0oo-

BAB IV

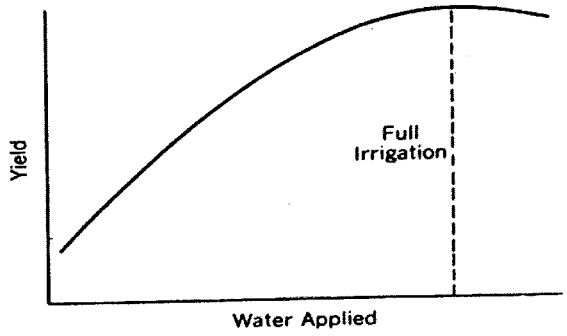
PENJADWALAN IRIGASI

Penjadwalan irigasi adalah proses untuk menentukan kapan dan berapa air yang harus diberikan. Penjadwalan yang tepat sangat penting dalam rangka efisiensi penggunaan air, energi dan input sarana produksi lainnya, misalnya pupuk. Penjadwalan menjadikan kegiatan irigasi dapat di-koordinasikan dengan kegiatan pertanian lainnya termasuk pengolahan tanah dan pemupukan. Keuntungan penjadwalan irigasi yang tepat diantaranya: meningkatkan kuantitas dan kualitas hasil tanaman, konservasi air dan energi, dan rendahnya biaya produksi (James, 1988).

4.1 STRATEGI PENJADWALAN

Menurut Michael (1988), jadwal irigasi dirancang untuk memenuhi sebagian atau sepenuhnya kebutuhan irigasi. Strategi ini meliputi *Full Irrigations* dan *Deficit Irrigation*.

4.1.1 Irigasi Penuh



Gambar 4.1 *Fungsi Produksi Tanaman (A Crop Production Function)*

Irigasi penuh (*Full Irrigation)* memberikan seluruh kebutuhan air irigasi dan menghasilkan produksi yang maksimum seperti terlihat pada fungsi produksi tanaman pada Gambar 4.1.

Melebihi *full irrigation* produksi tanaman akan menurun karena berkurangnya aerasi tanah dan hambatan perpindahan gas antara tanah dan atmosfir. *Full Irrigation* ekonomis bila air segera tersedia dan biaya irigasi rendah. *Full Irrigation* dilakukan untuk meminimalkan terjadinya cekaman air pada tanaman (misalnya, dengan irigasi maka laju transpirasi aktual tidak turun di bawah laju transpirasi potensial).

4.1.2 Irigasi Defisit

Pemberian air sebagian dari kebutuhan air irigasi, disebut defisit irigasi, yaitu mengurangi hasil dengan mengurangi sedikit jumlah air, energi atau input lainnya pada pemberian air untuk tanaman. Irigasi defisit menjadi ekonomis bila pengurangan pemberian air di bawah *full irrigation* yang mengakibatkan biaya produksi menurun lebih cepat dari pada berkurangnya pendapatan (karena tingginya biaya produksi dan kemiringan yang relatif datar pada fungsi produksi di sekitar *full irrigation*). Tingkat pemberian air dapat dikurangi di bawah *full irrigation* sampai kemiringan dari fungsi produksi sama dengan penurunan pendapatan karena tambahan pengurangan pemberian air sama dengan penurunan biaya produksi.

Tabel 4.1 *Irigasi yang Tepat pada Fase Pertumbuhan Tanaman yang Kritis untuk Pengelolaan Efisiensi Penggunaan Air (Water Use Efficiency, WUE)*

Crop	Growth Period Most Sensitive to Water Stress	Growth Interval in Which Irrigation Produces Greatest Benefits
Sorghum Wheat	Boot –heading Boot-flowering	Boot-soft dough Jointing soft dough
Corn	Tassel – pollination	12 leaf – blister kernal
Cotton	First bloom – peak bloom	Fierst bloom – boils well – formed
Dry beans	Flowering – early podfill	Axillary bud – podfill
Potatoes	Tuberization	Tuberization – maturity
Soybean	Flowering – early podfill	Axillary bud podfill
Sugarbeets	No critical staes	WUE' is maximized when water depletion is limited to about 50 available water depletion

Sumber: James, 1978

Irigasi defisit juga digunakan bila terbatasnya ketersediaan air dari suplai air atau sistem irigasi. Pada kondisi tersebut harus ditentukan tingkat pemberian air, jumlah lahan yang bisa diairi, kombinasi tanaman yang dapat memaksimumkan keuntungan irigasi.

Irigasi defisit adalah dapat merencanakan tanaman tercekam pada satu atau dua periode pertumbuhan tanaman. Jumlah air yang tepat diberikan pada fase pertumbuhan yang kritis untuk memaksimumkan efisiensi penggunaan air (memaksimumkan hasil tanaman per unit air yang diberikan). Fase pertumbuhan kritis beberapa tanaman disajikan pada Tabel 4.1.

4.2 WAKTU PEMBERIAN AIR

Menurut James (1988) ada beberepa metode yang digunakan untuk menentukan waktu pemberian air yang dapat diklasifikasi sebagai: indikator tanah, indikator tanaman dan teknik neraca air (*water budget technique*).

4.2.1 Indikator Tanaman

Monitoring tanaman merupakan metode langsung untuk nmenentukan kapan irigasi dilakukan, sesuai dengan tujuan utama irigasi yaitu untuk memberikan air yang dibutuhkan tanaman pada saat diperlukan. Biasanya diperlukan hubungan antara parameter tanaman dengan kandungan air tanah untuk menentukan jumlah irigasi. Instrumen atau prosedur yang diperlukan dan keuntungan serta kerugian beberapa indikator tanaman disajikan pada Tabel 4.2.

1. Penampilan dan Pertumbuhan Tanaman

Tabel 4.2 *Penentuan Saat Irigasi Berdasarkan Indikator Tanaman*

Observed or Measured Parameters	Required Instruments or Procedures	Principal Advantages	Principal Disadvantages
Appearance	Eye	Simple	Yield potential is usually affected before colour and others changes are observed
Leaf temperatur	Noncontacting thermometers	Can be sensed remotely	Application methods not well developed
Leaf water potential	Pressure chamber or thermocouple psycrometer	Indicated integrated effect of aerial and soil environment on degree of plant hydration, is correlated with metabolic processes, a fundamental parameter affecting water flux	Subject to large durinal variation, method is time consuming, requires samping skill, data not easily interpreted
Stomatal resistance	Diffusion porometer	Measures stomatal opening	Same as for leaf water potential

(Sumber: James,1988)

Visual indikator (*appearance*) tanaman yang membutuhkan air meliputi daun dan pucuk yang melayu dan warna daun. Pengukuran diameter batang dan tinggi tanaman dapat dilakukan secara reguler untuk menentukan laju pertumbuhan tanaman. Tanaman yang laju pertumbuhannya rendah merupakan indikasi perlunya irigasi.

2. Temperatur Daun

Meningkatnya temperatur daun, di samping berhubungan dengan meningkatnya temperatur udara, juga berhubungan dengan pengurangan laju transpirasi akibat dari penutupan sebagian atau seluruh stomata. Temperatur udara dan daun dapat terpantau dari permukaan tanah, pesawat udara dan satelit. Salah satu metode yang populer adalah menggunakan *hand-held infrared thermometer* untuk mengukur perbedaan temperatur antara kanopi tanaman dan udara sekitar setiap hari mendekati saat temperatur udara maksimum (biasanya 1 sampai 1,5 jam setelah tengah hari). Jumlah derajat di mana temperatur kanopi melebihi temparatur udara harian diakumulasi sampai tingkat kritis tertentu dicapai. Bila tingkat ini dicapai (tergantung pada tanaman dan jenis tanahnya), maka sudah saatnya untuk diairi. Hari-hari di mana tenperatur kanopi lebih kecil dari temperatur udara diabaikan.

3. Potensial Cairan Daun

Pengukuran potensial cairan daun (*leaf water potential*, $\Psi_{\mathbf{leaf}}$) dengan menggunakan persamaan $\Psi_{\mathbf{leaf}} = \Psi_{\mathbf{T}} + \Psi_{\Pi}$, yaitu jumlah tekanan turgor dan tekanan osmotik, merupakan indikator tanaman yang membutuhkan air. Rendahnya (negatif) potensial menunjukkan sangat besar kebutuhan airnya. Pengukuran potensial cairan daun merupakan prosedur yang merusak, yaitu memindahkan daun dan ditempatkan pada *pressurized chamber* (disebut pressure bomb). Tekanan pada chamber meningkat perlahan sampai cairan ditekan keluar dari batang daun. Tekanan dibutuhkan untuk mengukur potensial cairan daun. Pengukuran harus hati-hati dan harus dilatih karena sangat dipengaruhi oleh umur daun, terbukanya daun akan radiasi matahari, dan lama siang hari. Walaupun secara komersial alat pengukur potensial cairan daun ini telah tersedia, penggunaan pengukur potensial cairan daun oleh *irrigator* tidak tersebar luas, karena memerlukan waktu, kehati-hatian, dan dibutuhkan pelatihan untuk menghasilkan hasil yang diandalkan.

4. Tahanan Stomata

Tahanan stomata (*Stomatal resistance*) adalah indeks kebutuhan air, karena ada hubungan antara derajat pembukaan stomata dengan laju transpirasi. Secara umum, tingginya tahanan mengindikasikan secara nyata penutupan stomata, mengurangi laju transpirasi, dan membutuhkan air. *Diffusion porometers* digunakan untuk mengukur tahanan stomata dan secara komersial telah tersedia. Penggunaan pengukur tahananstomata ini terbatas hanya untuk tujuan penelitian saja, karena dibutuhkan waktu yang lama serta keterampilan tinggi.

4.2.2 Indikator Tanah

Penjadwalan irigasi berdasarkan indikator tanah meliputi penentuan kandungan air tanah pada saat sekarang, dibandingkan dengan kandungan air tanah minimum yang ditentukan (misalnya, kandungan air tanah kritis, θc) dan diairi untuk memelihara kandungan air tanah di atas tingkat minimum. Kandungan air tanah minimum bervariasi tergantung pada fase pertumbuhan, terutama untuk penjadwalan irigasi defisit. Indikator tanah juga memberikan data untuk memperkirakan jumlah air yang diberikan untuk irigasi.

Kandungan air tanah ditentukan baik secara langsung ataupun dari hasil pengukuran parameter tanah lainnya seperti potensial air tanah atau konduktifitas elektrik. Beberapa metode yang digunakan untuk memperkirakan kandungan air tanah disajikan pada Tabel 1.20, bersamaan dengan keuntungan dan kerugiannya pada berbagai indikator tanah.

1. Penampakan dan Perasaan

Berdasarkan pengalaman, *irrigator* dapat menduga kandungan air tanah berdasarkan penampakan serta merasakan tanah. *Soil probe* diperlukan diperlukan untuk mengambil sampel dari bagian bawah zone perakaran untuk diuji.

2. Metode Gravimatrik

Metode gravimatrik merupakan metode pengukuran kandungan air tanah secara langsung dari contoh tanah dari lahan. Contoh tanah ditimbang dan dikeringkan pada temperatur 105 -110° C, dan ditimbang lagi setelah pengeringan. Biasanya diperlukan 24 jam waktu pengeringan sampai berat contoh tanah konstant. Dari selisih penimbangan berat contoh tanah sebelum dan sesudah dikeringkan dapat dihitung kandungan air tanahnya.

3. Tensiometer

Tensiometer digunakan untuk mengukur untuk mengukur potensial air tanah. Tensiometer dengan *ceramic cup* yang poros diisi dengan air dan dihubungkan langsung dengan *vacuum gauge* atau *mercury manometer*. Air keluar dan masuk *cup* sebagai response terhadap perubahan kandungan air tanah.

4. *Porous Blocks*

Porous blocks berhubungan dengan kelembaban tanah yang seimbang dengan kandungan air tanah. Perubahan kandungan air pada *block* (karena kandungan air tanahnya berubah) menyebabkan perubahan pada peralatan pemantau pada *block*. Dua tipe alat ukur yang umum digunakan adalah tahanan elektrik dan konduktifitas. Sepasang kawat *stainless-steel* dibenamkan dalam gipsum, digunakan untuk mengukur tahanan elektrik. Untuk pendugaan kandungan air tanah. kurva kalibrasi yang menghubungkan tahanan elektrik pada *block* dengan kandungan air tanah perlu dibuat. Karena *gypsum block* sangat tepat untuk potensial tanah kurang dari -1 bar, penggunaannya sering digabungkan dengan tensiometer untuk mendapatkan semua kisaran kandungan air tanah.

5. *Neutron Scattering*

Neutron probe secara luas digunakan untuk mengukur kandungan air tanah secara *volumetric.* Caranya menggunakan acces tube, sumber energi yang tinggi atau *fast neutrons* (biasanya americium), dan detektor. Acces tube dipasanga pada lubang yang telah dibor pada kedalaman yang diharapkan (biasanya pada zone perakaran). Fast neutron dimasukkan kedalam tanah dan secara bertahap energinya hilang karena bertubrukan dengan berbagai inti atom. Hidrogen, yang tersedia pada air dan bahan organik, merupakan elemen yang sangat efektif dalam tanah pada penurunan neutron. *Slow or thermalized neutron* membentuk awan disekitar sumber dan sebagian secara acak kembali ke detektor. Detektor terdiri dari charge wire dan *ratemeter* yang ditempatkan dipermukaan tanah. Kembalinya *thermalized neutron* menyebabkan pulsa elektrik pada *charge wire* dihitung oleh *ratemeter.* Jumlah pulsa yang tercatat pada interval waktu tertentu secara linier berhubungan kandungan air tanah (volumetric) dengan menggunakan kurva kalibrasi.

4.2.3 Teknik Neraca Air (*Water Budget Technique*)

Teknik neraca air dalam menentukan saat irigasi mengukur perubahan kandungan air tanah dihitung dengan menggunakan formula berikut:

$$\theta_i = \theta_{i-1} - 100\left(\frac{ET - P_e}{D_{rz}}\right) \qquad 4.1$$

di mana,

θ_i, θ_{i-1} = Kandungan air tanah (persen volume) pada sore hari ke i dan i-1, berurutan
ET = Evapotranspirasi
P_e = Curah hujan efektif
D_{rz} = kedalaman zone perakaran

-oo0oo-

BAB V

KUALITAS AIR

5.1 HUBUNGAN KUALITAS AIR DAN TANAMAN

Kualitas air irigasi ditentukan oleh jumlah kandungan material yang terlarut di dalamnya. Material yang terlarut di dalam air irigasi termasuk partikel tanah yang tererosi, biji-bijian, daun dan kotoran lainnya. Umumnya kation yang terlarut pada air irigasi adalah calcium, magnesium, sodium, dan potasium; sedangkan anionnya adalah bicarbonate, sulfate, dan chloride. Kadang-kadang terdapat larutan lainnya, termasuk nitrate, carbonate dan *trace element* seperti boron (James, 1988).

Larutan material dalam air irigasi dinyatakan sebagai konsentrasi ion total yang dinyatakan dalam konsentrasi ion dan disebut sebagai salinitas.

Salinitas ini dinyatakan dalam satuan mol/m^3, meq/l atau ppm. Karena adanya kemampuan air untuk menghantarkan listrik, salinitas ini dapat juga dinyatakan dengan konduktifitas elektrik (EC) yang dinyatakan dalam satuan decisiemen permeter (dS/m) atau milimhos per centimeter (mmho/cm) .

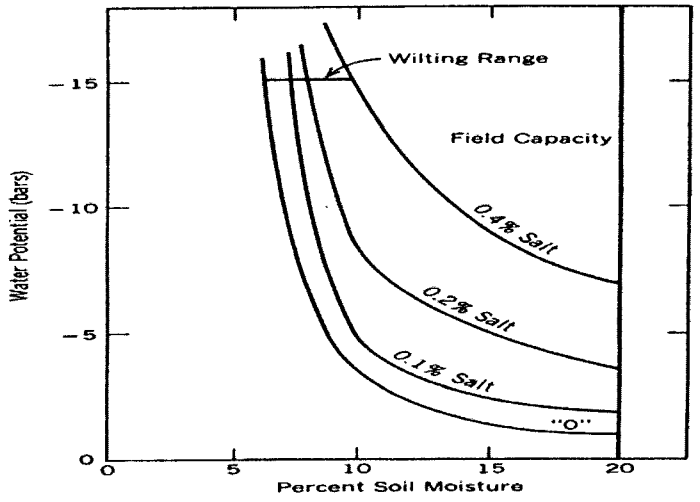
Salinitas mempunyai pengaruh di dalam menghambat air tanah yang tersedia bagi tanaman, karena kandungan garam dalam air tanah meningkatkan energi yang dibutuhkan untuk memindahkan air dari tanah.

Gambar 5.1 menunjukkan hubungan antara energi dengan kemampuan tanah memegang air dan kandungan air tanah pada berbagai konsentrasi garam dalam tanah.

Salinitas ini pada tahap tertentu (dibawah batas ambang) tidak mempengaruhi produksi , tetapi bila melewati batas ambang maka produksi akan menurun secara linier seperti pada Gambar 5.2. yang menunjukan hubungan antara salinitas dan produksi.

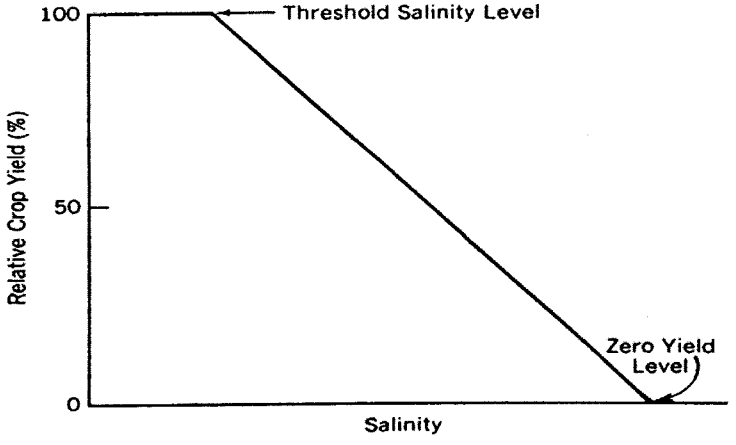
Salinitas pada tingkat produksi *zero* adalah estimasi salinitas maksimum tanaman dapat toleran tapi tidak berproduksi.

Hubungan antara salinitas dan hasil bervariasi tergantung pada berbagai jenis tanaman. Tabel 5.1 menunjukkan batas ambang salinitas dan produksi *zero* pada berbagai grup salinitas.



(Sumber: James, 1988).

Gambar 5.1 *Kurva Karakteristik Tanah untuk Kandungan Air Tanah Pada Berbagai Kandungan Garam*



(Sumber: James, 1988)

Gambar 5.2 *Hubungan Hasil dan Salinitas*

Tabel 5.1 *Ambang Batas Serta Produksi Zero pada Berbagai Grup Salinitas*

Salinity Rating Group	Threshold Salinity (dS/m)	Zero Yield Salinity (dS/m)
Sensitive	1.4	8.0
Moderately sensitive	3.0	16.0
Moderately tolerant	6.0	24.0
Tolerant	10.0	32.0

Sumber: Hoffman et.al (1981) dalam james (1988)

Empat grup tanaman yang toleransinya terhadap garam hampir sama disajikan pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 *Seleksi Tanaman yang Memiliki Tingkat Toleransi Salinitas yang Sama*

Sensitive	
Almond	Lemon
Apple	Okra
Apricot	Onion
Avocado	Orange
Bean	Peach
Blackberry	Palm
Boysenberry	Raspberry
Carrot	Strawberry
Grapefruit	
Moderately sensitive	
Alfalfa	Pepper
Bentgrass	Potato
Broadbean	Radish
Broccoli	Rhodegrass
Cabbage	Rice, paddy
Clover	Sesbania
Corn (forage, grain, sweet)	Sorghum
Cowpea	Spinach
Cucumber	Sugarcane
Flax	Sweet potatoes
Grape	Timothy

Tabel 5.2 *Seleksi Tanaman yang Memiliki Tingkat Toleransi Salinitas yang Sama (Lanjutan)*

Sensitive	
Lettuce	Tomato
Lovegrass	Trefoil, big
Meadow Foxtail	Vetch
Millet, Foxtail	
Orchardgrass	
Peanut	
Moderately tolerrant	
Barley (forage)	Safflower
Beet, garden	Soybean
Bromegrass	Sudonggrass
Canarygrass, reed	Trefoil,Birdsfood, narrowleaf
Fescue, tall	Wheat
Hardinggrass	Wheatgrass, crested and slender
Olive	Wildrye, beardless
Ryegrass, perennial	
Tolerant	
Barley, grain	Sugarbeet
Bermudagrass	Wheatgrass, fairway adn tail
Cotton	Wildrye, Altai and Russian
Date palm	

Sumber: Hoffman et.al. (1981) dalam James (1988)

5.2 KRITERIA KUALITAS AIR IRIGASI

Selain kandungan garam total , yang diukur dengan konduktifitas elektrik (Ec), kriteria lain untuk menentukan kualitas air adalah proporsi relatif Natrium yang dinyatakan dengan *Sodium Adsorption Ratio* (SAR) dan kandungan *bicarbonate* serta boron .

Nilai SAR umumnya merupakan indikator yang baik untuk mengetahui Na dapat tukar larutan tanah dan lebih mudah di tentukan dari pada ESP (*Exchangeable Sodium Precentage*). Nilai SAR ditentukan dengan persamaan:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Di mana, semua ion satuannya dalam mole per m^3. Pada berbagai jenis tanah, ekstrak larutannya diperkirakan sama dengan nilai ESP untuk nilai ESP 25 atau 30.

Bicarbonate. Air irigasi yang kaya akan kandungan bicarbonate cenderung untuk mengikat calsium dan magnesium menjadi garam *carbonat.* Hal ini akan meninggalkan proporsi Na yang tinggi menjadi *divalent cations* pada larutan tanah dan meningkatkan nilai SAR.

Boron. Boron merupakan nutrisi yang utama bagi pertumbuhan tanaman, namun akan menjadi racun bagi tanaman apabila kandungan boron pada air irigasi melebihi 2 ppm. Boron tidak mempengaruhi baik fisik maupun kimia tanah, tetapi konsentrasi yang tinggi mempengaruhi kegiatan metabolisme tanaman.

5.3 KLASIFIKASI AIR IRIGASI

Secara rinci Cristiansen (1977) telah menyusun klasifikasi air irigasi seperti pada Tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.3 *Evaluasi Kualitas Air Irigasi*

Nilai evaluasi	EC (mmhos)	Na^+ (%)	SAR	NaCO3 (meq/l)	Cl (meq/l)	ES (meq/l)	Boron mg/l
1	0.5	40	3	0.5	3	4	0.5
2	1.0	60	6	1.0	6	8	1.0
3	2.0	70	9	2.0	10	16	2.0
4	3.0	80	12	3.0	15	34	3.0
5	4.0	90	15	4.0	20	32	4.0
6[a]							

(Sumber: Christiansen et.al. (1977) dalam Hansen et.al. (1980))

Ket: a = Nilai lebih tinggi dari kelas 5

Standar air yang disajikan pada Tabel 5.3 dapat dijadikan acuan didalam mengkaji kualitas air untuk irigasi. Nilai evaluasi 1. merupakan yang terbaik untuk pertanian, sedangkan nilai evaluasi 6., umumnya tidak akan dapat dimanfaatkan untuk irigasi.

Setiap faktor sama pentingnya dan tidak perlu dilakukan penggabungan nilai. Boron yang berlebihan dapat mengakibatkan air tidak cocok meskipun semua faktor menguntungkan.

5.4 PENGENDALIAN SALINITAS

Menurut James (1988), pengendalian salinitas bertujuan untuk mempertahankan dan atau meningkatkan air tanah tersedia bagi tanaman. Pengendalian salinitas biasanya dilakukan dengan *Leaching* (pencucian) garam dari profil tanah, *Maintaining high soil water contents* (memelihara kandungan air tanah tetap tinggi), seleksi *Salt-Tolerant crops* (tanaman yang lebih toleran) terhadap garam dan peningkatan drainase (drainage).

5.4.1 Pencucian Garam

Pencucian (*Leaching*) melibatkan pemberian air yang cukup untuk menyebabkan terjadinya drainase dari zone perakaran. Garam-garam akan terbawa keluar dari zone perakaran melalui air drainase.

Persamaan 5.1 digunakan untuk menduga jumlah air yang diperlukan untuk pencucian untuk menjaga salinitas air tanah pada tingkat yang diharapkan (biasanya pada nilai ambang (threshold).

$$LF = \frac{D_D}{D_I} = \frac{EC_I}{EC_D} \qquad (5.1)$$

Di mana:

LF = Fraksi pencucian
D_D = Kedalaman air drainase dari zone perakaran, mm
D_I = Kedalaman air yang memasuki zone perakaran, mm
EC_I = EC air yang memasuki zone perakaran, dS/m
EC_D = EC air drainase dari zone perakaran, dS/m

5.4.2 Memelihara Tingginya Air Tanah Tersedia

Konsentrasi garam pada zone perakaran meningkat ketika kandungan air tanah menurun oleh adanya evaporasi dan transpirasi, karena itu bila air tanah dipelihara pada kandungan yang tinggi maka kandungan garamnya akan rendah. Hal ini memungkinkan mengairi dengan air yang tingkat salinitasnya tinggi. Meningkatnya frekuensi irigasi merupakan cara yang efektif untuk memelihara tingginya kandungan air tanah dan memungkinkan penggunaan air bergaram untuk irigasi.

5.4.3 Tanaman yang Toleran Terhadap Garam

Seleksi tanaman atau varietas tanaman yang sangat toleran terhadap garam. Air yang salinitasnya tinggi dapat digunakan untuk mengairi tanaman yang toleran. Tingkat toleransi tanaman terhadap garam disajikan pada Tabel 5.1 dan 5.2..

5.4.4 Drainase

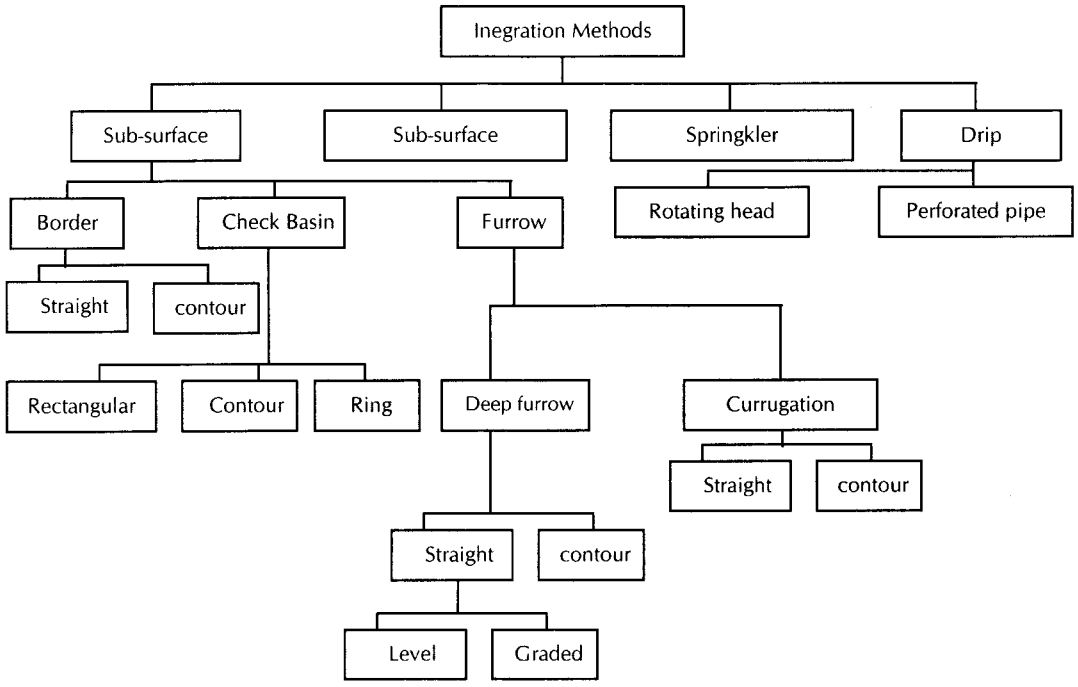
Drainase yang tepat sangat penting untuk pengendalian salinitas. Adanya water table pada atau dekat dengan zone perakaran mungkin menyebabkan terakumulasinya garam pada zone perakaran. Garam pada air tanah (*ground water*), garam tanah alami atau garam yang hasil pencucian dari zone perakaran akan terbawa kedalam zone perakaran apabila *water table* nya meningkat.

-oo0oo-

BAB VI

METODE IRIGASI

Irigasi pada tanaman dapat diberikan dengan cara penggenangan dipermukaan, bawah permukaan, curah bertekanan atau tetes. Metoda irigasi yang umum oleh Michael (1978) secara skematik disajikan sebagai berikut:



(Sumber: michael, 1978)

Gambar 6.1 *Skema Metode Irigasi*

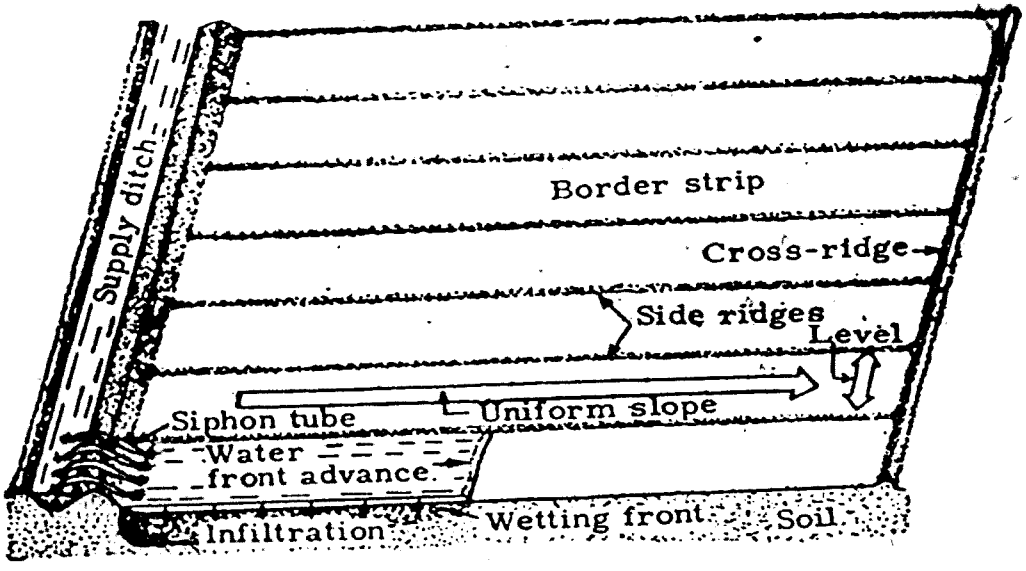
Untuk menentukan penggunaan metode irigasi yang tepat tergantung pada faktor-faktor ketersediaan air, tipe tanah, topografi lahan dan tanaman. Apapun metode irigasi yang dipilih, yang diperlukan adalah merancang sistem irigasi sehingga diperoleh penggunaan air oleh tanaman yang paling efisien.

6.1 METODE IRIGASI PERMUKAAN

Pada irigasi permukaan, air diberikan secara langsung melalui permukaan tanah dari suatu saluran di lokasi tertinggi. Air didistribusikan ke tanaman dengan metode *border strps, check basin* atau *furrow*. Terdapat 2 syarat yang penting untuk mendapatkan metode irigasi permukaan yang sangat efisien, yaitu **pembuatan sistem distribusi air** agar dapat mengendalikan air ke lahan dengan baik dan **penyiapan lahan** (land preparation) yang layak sehingga penyebaran air seragam ke seluruh lahan.

6.1.1 Irigasi *Border*

Pada metode irigasi *border*, galengan-galengan yang sejajar dibuat untuk mengendalikan lapisan aliran air yang bergerak ke arah kemiringan. Lahan dibagi menjadi beberapa petakan (border) yang sejajar dan masing-masing dipisahkan oleh galengan rendah. Kemiringan biasanya satu arah. (lihat Gambar 6.2).



(Michael, 1978)

Gambar 6.2 *Skema Tata-Letak Sistem Irigasi Border*

Masing-masing petakan (border) diberikan air secara terpisah. Air irigasi menyebar mengalir sepanjang kemiringan yang dikendalikan oleh galengan *border* tersebut.

Keuntungan dan keterbatasan irigasi border menurut Ali (2010) adalah:

Keuntungan:

1. Pembangunan dan pemeliharaannya mudah
2. Sistem operasionalnya sederhana dan mudah
3. Memungkinkan tingginya Efisiensi irigasi bila desainnya tepat, tetapi praktreknya jarang dicapai kesulitan menyeimbangkan fase jelajah dan resesi pemberian airnya
4. Memfasilitasi drainase alami melalui kemiringan lahan
5. Sedikit pekerja yang dibutuhkan

Keterbatasan:

1. Memerlukan topografi lahan yang datar dan halus
2. Tidak cocok untuk tanah berpasir
3. Tidak cocok untuk tanaman yang membutuhkan genangan air
4. Kebutuhan airnya lebih tinggi dibandingkan dengan irigasi curah atau irigasi tetes

Border dapat dibuat sepanjang kemiringan lahan lurus kearah lereng (*straight on down the slope borders*) atau melintang kemiringan menurut garis kontur (contour borders). Apabila lahan dapat diratakan dengan kemiringan tertentu secara ekonomis dan tanpa mempengaruhi produktifitasnya, maka pembuatan *graded border* (Lihat Gambar 6.2 dan 6.3) lebih mudah dalam pembuatan dan operasinya. Tetapi apabila kemiringan lahan melebihi batas aman (safe limit), bergelombang dan perataan menjadi sulit, maka border dapat dibangun melintang lereng, dan disebut *contour border* (Lihat Gambar 6.4).



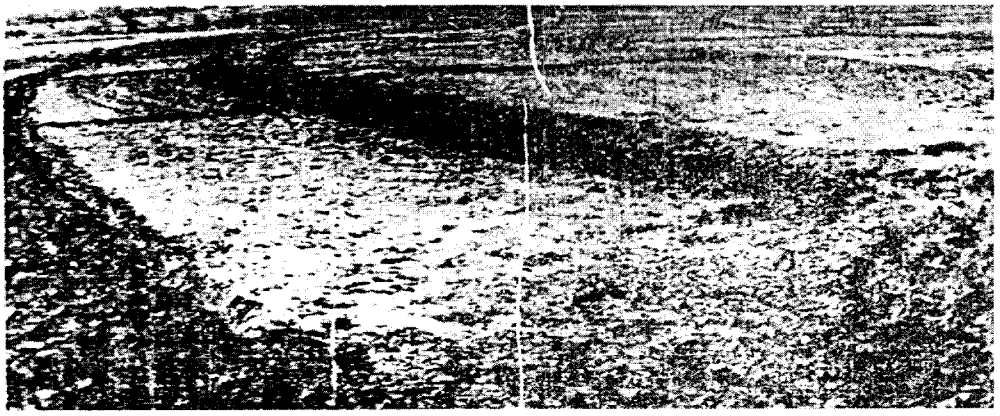
(Sumber: Michael, 1978)

Gambar 6.3 *Pertumbuhan Gandum yang Seragam pada Border Lurus (Straight Border)*

Kurva Jelajah dan resesi

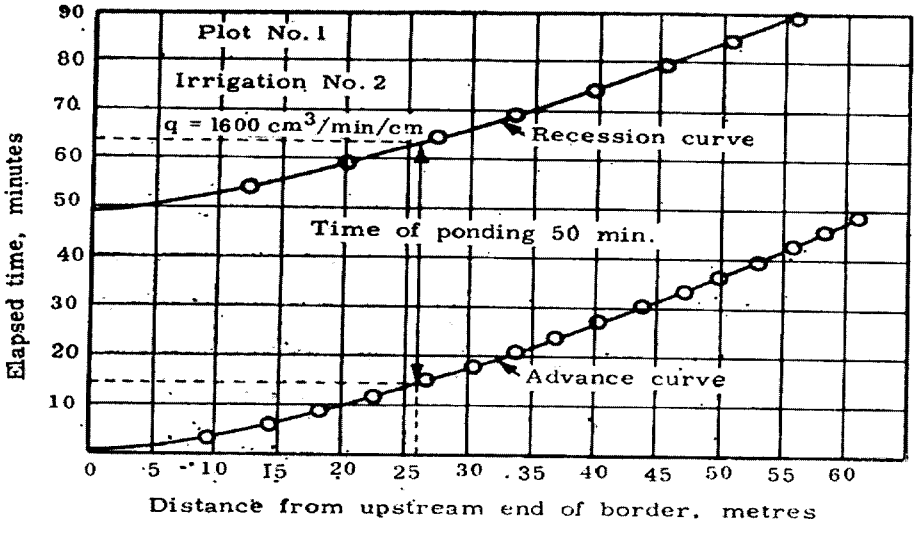
Selama air irigasi diberikan maka air akan mengalir dari pangkal sampai keujung. Apabila diplot diantara waktu dan jarak jelajah maka akan didapatkan suatu kurva jelajah (*advance curve*). Setelah pemberian air irigasi dihentikan, maka air akan mengalir kebagian yang lebih rendah. Laju resesi

ditentukan dengan mencatat waktu yang diperlukan sejak pemberian air irigasi dihentikan sehingga air permukaan disuatu tempat akan habis mengalir ketempat yang lebih rendah dan atau akan meresap seluruhnya ke dalam tanah, seperti Gambar 6.5:



(Sumber: Michael, 1978)

Gambar 6.4 *Tata-Letak Kontur Border (Border Contour Irrigation)*



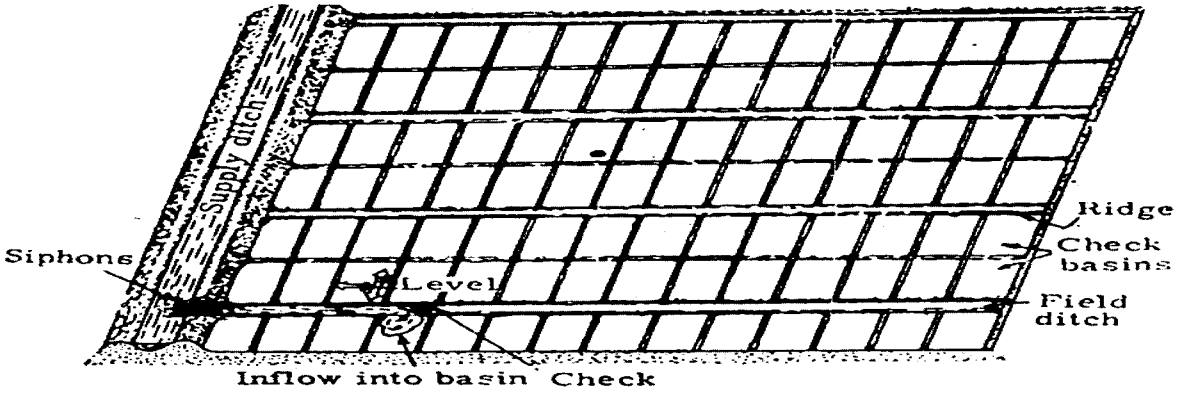
(Sumber: Michael, 1978)

Gambar 6.5 *Kurva Jelajah (Advance) dan Resesi (Recession) pada Irigasi Border*

Kesejajaran dari kedua kurva diatas, menentukan keseragaman distribusi air sepanjang border. Perbedaan antara waktu dimana air mencapai suatu titik dalam jarak tertentu sepanjang border dengan waktu resesi ditempat tersebut disebut sebagai waktu kesempatan untuk berinfiltrasi (infiltration Opportunity Time).

6.1.2 Irigasi *Basin*

Irigasi *Basin* merupakan metode irigasi yang umum digunakan di India dan beberapa negara lainnya. Metode ini merupakan metode irigasi yang paling sederhana (simple). Banyak sekali variasi penggunaan metode ini, tetapi semuanya membagi lahan dibagi menjadi petakan-petakan kecil yang hampir datar (Lihat Gambar 6.6 dan 6.7).



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.6 *Skema ilustrasi Tata-Letak Metode Irigasi Basin*



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.7 *Tata-Letak Metode Irigasi Basin di Lahan*

Galengan di sekeliling petakan dibentuk untuk menahan air irigasi supaya air bisa dikendalikan. Petakan diisi air pada kedalaman yang diharapkan dan air tergenang dan berinfiltrasi. Irgasi pada padi untuk pencucian (*leaching*) perlu dipertahankan tinggi genangan air tertentu untuk periode waktu yang ditentukan dengan pemberian air yang kontinyu.

Ukuran *basin* beragam mulai dari 1 m^2- yang digunakan untuk budidaya sayuran sampai dengan 2 ha atau lebih yang digunakan untuk budidaya padi sawah. Apabila lahan dapat diratakan secara ekonomis, maka bentuk *basin* biasanya segi empat. Tetapi apabila topografi bergelombang maka galengan dibuat mengikuti kontur. Biasanya vertikal interval antara galengan-galengan bervariasi dari 6 - 12 cm untuk *upland Crops* seperti gandum dan 15 - 30 cm untuk tanaman padi. Ukuran *basin* untuk padi sawah bervariasi tergantung pada debit air yang tersedia, ukuran pemilikan lahan. Besarnya debit dan pemilikan lahan memungkinkan besarnya ukuran basin. Ukuran basin tersebut juga tergantung pada karakteristik infiltrasi. Tanah berpasir dan lempung berpasir.

Pada lahan sawah, air dipertahankan pada kedalaman tertentu dgn menggunakan papan duga (check gate) yang tingginya disesuaikan dengan tinggi genangan yang diharapkan. Irigasi untuk anggur dan buah-buahan lainnya digunakan *square* atau *contour basin* biasanya dibuat *basin*. Bila tanaman jaraknya lebar basinnya berbentuk lingkaran untuk setiap pohon.

Check Basin" cocok untuk lahan yang mempunyai kemiringan landai dan seragam serta tingkat infiltrasinya sedang sampai rendah. Untuk lahan yang curam kemiringanya memerlukan tata letak dan *leveling* yang berat dan susah.

Keuntungan dan keterbatasan irigasi basin menurut Ali (2010) adalah:

Keuntungan:

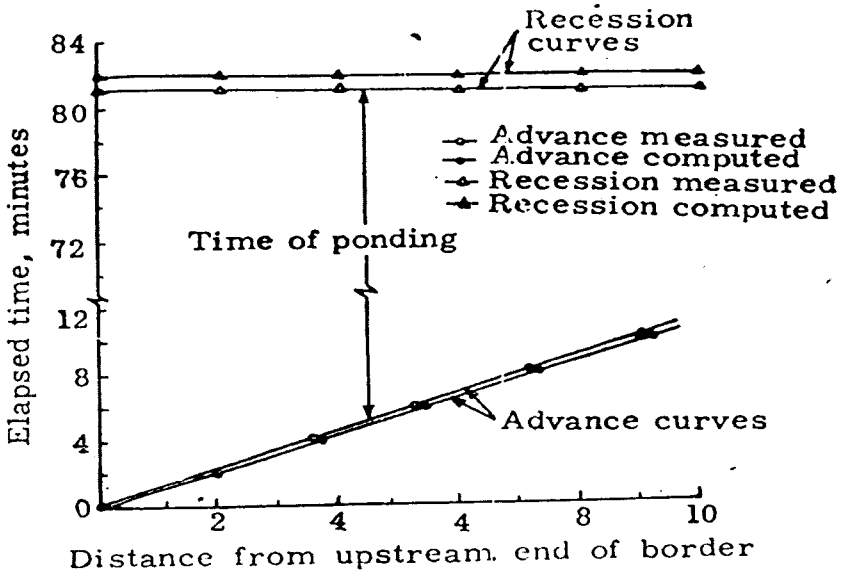
1. Satu keuntungan besar metode irigasi basin adalah kegunaannya dalam mengairi lahan sempit dengan bentuk yang tidak beraturan
2. Sangat cocok untuk lahan/ tanaman yang memerlukan pencucian untuk membuang garam dari zone perakaran
3. Pada umumnya efisiensi distribusi dan pemberian air nya tinggi

Keterbatasan:

1. Memerlukan perataan tanah yang tepat untuk mencapai efisienasi pemberian air yang tinggi
2. Kebutuhan tenaga kerja yang tinggi dan intensif
3. Menghalangi drainase permukaan
4. Tidak cocok untk tanaman yang sensitif genangan air
5. Adanya galengan mengganggu kebebasan pergerakan mesin-mesin pertanian
6. Air yang dibutuhkan sangat tinggi dibandungkan dengan irigasi curah dan tetes.

Kurva Jelajah dan Resesi

Tipe kurva jelajah dan resesi dalam *Check basin* terlihat pada Gambar 6.8.



(Sumber: Michael 1978)

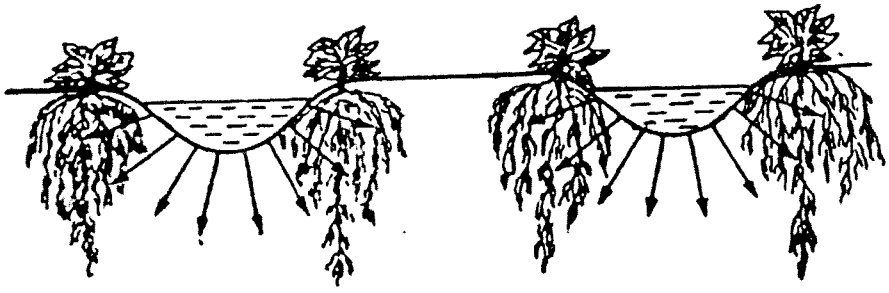
Gambar 6.8 *Kurva Jelajah dan Resesi pada Irigasi Basin*

Kurva resesi hampir sejajar dengan sumbu x. waktu resesi di inlet = 0 , berarti air tergenang di inlet (setelah air irigasi dihentikan) cukup lama. Hal ini disebabkan pada *check basin* permukaan lahan relatif datar..

Pada chek basin memungkinkan untuk memberikan sejumlah air yang diperlukan secara tepat untuk memenuhi zone perakaran mencapai kapasitas lapang (FC) bila *provisions* dibuat untuk mengukur laju aliran kedalam basin dan mengendalikan lamanya aliran air irigasi. Hal ini menghasilkan nilai efisiensi aplikasi dan penyimpanan air yang tinggi. Efisiensi pendistribusi air biasanya menjadi faktor pembatas. Sebagai pedoman kasar, dalam desain *check basin*, air irigasi menyebar keseluruh *basin* dalam waktu 1/4 dari waktu yang diperlukan untuk meresapkan *net depht of irigation water*. Dengan menyeleksi basin dan salurannya sesuai dengan karakteristik infiltrasi tanahnya, memungkinkan membuat check basin yang nilai efisiensi distribusi airnya tinggi.

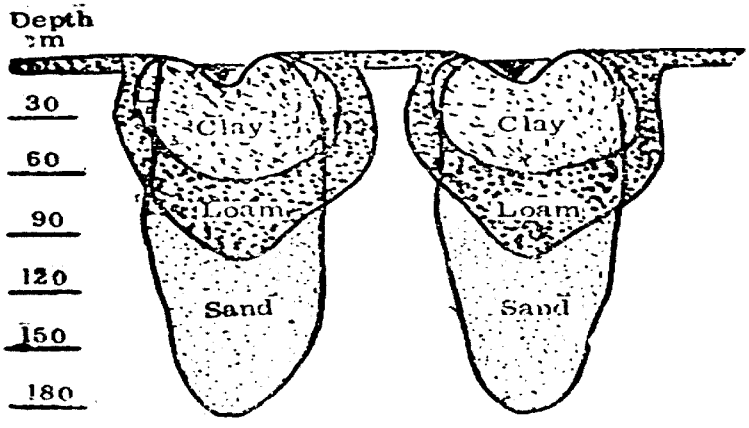
6.1.3 Irigasi Alur (*Furrow Irigation*)

Metode irigasi *furrow* digunakan untuk mengairi alur di antara lajur tanaman pada proses pengolahan dan penanamannya. Ukuran dan bentuk tergantung pada tanaman, perlengkapan yang digunakan untuk jarak antar lajur tanaman. Air irigasi diberikan melalui parit kecil dalam alur di antara lajur tanaman. Air irigasi meresap kedalam tanah dan menyebar secara lateral untuk mengairi area diantara alur (Lihat Gambar 6.9).



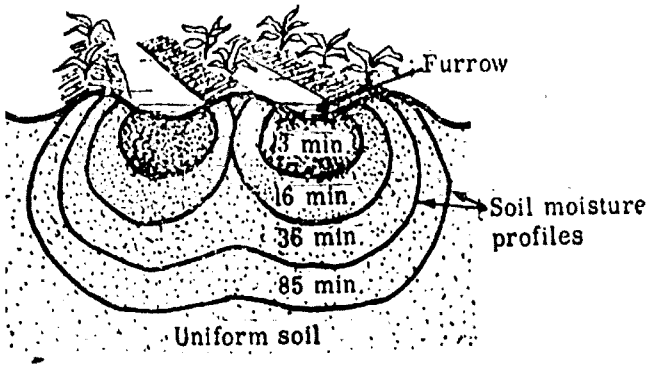
(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.9 *Skema Ilustrasi Irigasi Alur dengan Satu Alur untuk Dua Baris Tanaman Sayuran*



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.10 *Profil yang Menunjukkan Gerakan Air ke bawah pada Berbagai Jenis Tanah*



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.11 *Pola Penetrasi Kelembaban pada Irigasi Alur pada Tanah yang Seragam*

Lama waktu air mengalir di alur tergantung pada jumlah air yang diperlukan untuk mengganti air pada zone perakaran dan laju infiltrasi dan laju penyebaran secara lateral dalam tanah (Lihat Gambar 6.10 dan 6.11).

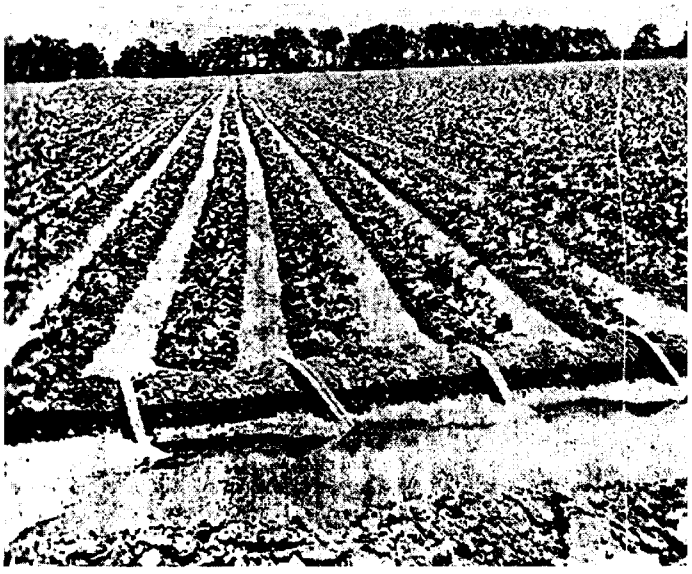
Pada areal yang memerlukan drainase permukaan, alur dapat juga digunakan untuk memfasilitasi aliran permukaan dari curah hujan secara cepat. Terdapat 2 tipe alur yaitu:

a. Alur lurus (*Straight furrow*)
b. Alur Kontur (*Contour furrow*)

Berdasarkan ukuran dan jarak, alur dapat diklasifikasikan dalam alur dalam (deep furrow) dan alur dangkal (*currugation*).

Alur lurus

Alur lurus, sama seperti border, alur berada searah lereng (Lihat Gambar 6.12). Alur sesuai untuk lahan dengan kemiringan tidak lebih dari 0,75 %. Untuk daerah dengan intensitas hujan tinggi, kemiringan tidak lebih dari 0,5 % untuk meminimalkan bahaya erosi.



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.12 *Irigasi Alur untuk Sayuran. Tanaman Tumbuh pada Galengan dengan Irigasi Alur di antara Baris Tanaman*

Alur Kontur

Metode alur kontur pemberian airnya hampir sama dengan alur datar dan alur miring yang irigasinya melalui alur, tetapi alurnya membawa air memotong lereng lahan. Irigasi alur melengkung sesuai dengan topografi lahan (Gambar 6.13)



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.13 *Pemberian Air Sebelum Penebaran Benih pada Metode Irigasi Alur Lurus*

Keterbatasan irigasi alur lurus diatasi oleh kontur, termasuk lahan yang miring. Tanah yang ringan dapat diairi dengan baik pada kemiringan sampai dengan 5 %. Bila tanah yang stabil dan tidak diolah (seperti anggur) dengan kemiringan antara 8 sampai dengan 10 % dapat diairi dengan alur kontur. Alur melintang kemiringan lahan. Untuk daerah dengan hujan yang tinggi, panjang alur harus cukup pendek untuk menghindari terjadi luapan air permukaan yang dapat merusak alur itu sendiri.

Keuntungan dan kerugian irigasi alur menurut Ali (2010) adalah:

Keuntungan:

1. Pengembangannya bertahap sesuai dengan tenaga kerja atau memungkinkan secara ekonomi
2. Biaya pengembangannya relatif rendah setelah kegiatan pembentukan lahan diselesaikan
3. Erosi yang terjadi minimal
4. Dapat diterapkan pada kisaran kemiringan lahan yang lebar

Keterbatasan:

1. Tidak cocok untuk tanah yang permeabilitasnya tinggi yang infiltrasi vertikalnya lebih besar dari pada aliran masuk lateral
2. Jumlah air yang dibutuhkan lebih tinggi dibandingkan dengan irigasi curah atau tetes
3. Alur sebaiknya diatur tertutup

6.2 IRIGASI BAWAH PERMUKAAN

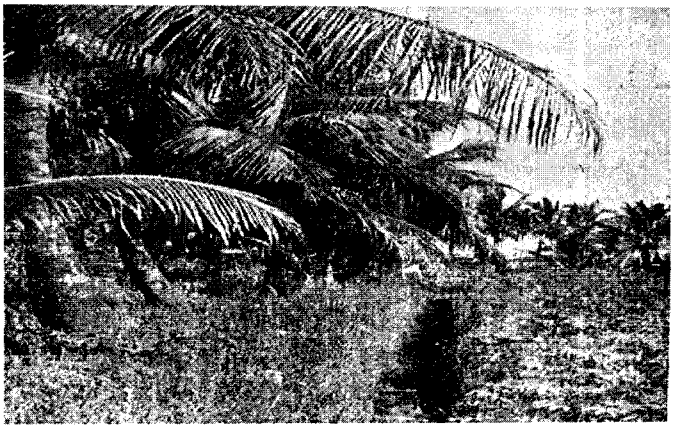
Pada irigasi bawah tanah, air irigasi diberikan di bawah permukaan tanah dengan memelihara *water table* buatan pada kedalaman tertentu tergantung pada tekstur tanah dan kedalaman daerah perakaran. Air irigasi mencapai akar tanaman melalui gaya kapiler. Air irigasi dapat diberikan melalui parit terbuka (Gambar 6.14 dan 6.15) atau juga pipa dalam tanah seperti *tile drain* atau *mole drain*. Kedalaman parit terbuka bervariasi dari 30 - 100 cm dengan jarak 15 - 30 meter.

Irigasi bawah tanah dapat digunakan untuk tanah-tanah mempunyai kapasitas menahan air yang rendah dengan laju infiltrasi yang tinggi di mana irigasi permukaan tidak dapat digunakan dan irigasi curah dipandang mahal. Pada irigasi bawah tanah memungkinkan untuk memelihara tinggi muka air pada kedalaman yang optimum sesuai dengan kebutuhan tanaman pada berbagai fase pertumbuhan. Kehilangan karena evaporasi permukaan tanah minimum. Air yang mempunyai kandungan garam yang tinggi tidak dapat digunakan untuk irigasi bawah tanah, karena akan terjadi akumulasi garam di daerah perakaran tanaman.



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.14 *Teras Gali (Trench Dug) pada Irigasi Bawah Tanah Tanaman Jagung*



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.15 *Irigasi Bawah Tanah pada Perkebunan Kelapa dan Singkong Melalui Saluran Terbuka pada Tanah Organik*

6.3 IRIGASI CURAH

Pada metode irigasi curah, air disemprotkan ke udara dan jatuh di permukaan tanah menyerupai hujan. Semprotan dengan aliran air di bawah tekanan melalui *orifice*. Kecil atau *nozzle*. Tekanan tersebut biasanya didapat dengan pemompaan. Dengan pemilihan ukuran *nozzle*, tekanan operasi

dan jarak *sprinkler* secara cermat, sejumlah air irigasi yang dibutuhkan untuk mengisi zone perakaran dapat diberikan dengan laju yang merata sesuai dengan laju infiltrasi, sehingga irigasinya efisien.

6.3.1 Kesesuaian Irigasi Curah

Irigasi curah dapat digunakan untuk semua tanaman (kecuali padi dan jute) dan hampir semua jenis tanah, tetapi biasanya tidak sesuai untuk tanah-tanah bertekstur sangat halus (tanah liat berat) dimana laju infiltrasi kurang dari 4 mm per jam. Metode ini sesuai untuk tanah-tanah berpasir yang memiliki laju infiltrasi yang tinggi. Metode irigasi ini dapat diterapkan pada semua kondisi topografi tanpa penyiapan lahan yang ekstensif karena peralatan sprinkler fleksibel dan efisien dalam mengendalikan aplikasi pemberian air. Sesuai dengan lahan yang miring atau topografi yang tidak beraturan. Untuk mencegah bencana erosi, irigasi curah dapat digunakan bersamaan dengan *contour bunding, terracing, mulching* dan *strip cropping.*

Irigasi curah tidak memerlukan perataan tanah. Perataan tanah dianjurkan bila ada masalah drainase atau untuk penyiapan pembenihan, pengolahan tanah dan pemanenan. Adanya aliran kecil air irigasi dapat digunakan secara efisien, dan desain sprinkler yang baik pendistribusian airnya lebih baik dibandingkan dengan metode irigasi lainnya. Aliran permukaan dari air irigasi dapat dieliminasi. Jumlah air dapat dikendalikan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman, dan pemberian air yang sedikit pada pembenihan dan tanaman muda membuat irigasi curah menjadi efisien.

Pemberian pupuk, herbisida dan fungisida dapat diberikan secara bersamaan dengan irigasi dengan sedikit peralatan ekstra sehingga ekonomis. Penetrasi pupuk ke dalam tanah dapat dikontrol dengan pemberian pupuk pada waktu tertentu saat aplikasi irigasi. Irigasi curah dapat digunakan untuk mencegah terjadinya *frost* dan tingginya temperatur yang dapat mengurangi nkualitas dan kuantitas hasil panen. Biaya tenaga kerja biasanya lebih kecil dari irigasi permukaan. Lebih banyak lahan yang bisa ditanami karena tidak memerlukan saluran-saluran dan galengan-galengan. Irigasi curah ini tidak mengganggu pergerakan alat dan mesin pertanian

Faktor-Faktor pembatas. Angin berpengaruh terhadap pola penyebaran air. Panenan buah-buahan harus dicegah dari curahan. Suplai air yang stabil diperlukan untuk penggunaan peralatan yang ekonomis. Air irigasi harus cukup bersih, bebas pasir dan kotoran-kotoran sejumlah besar garam terlarut. Irigasi curah memerlukan investasi awal yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan metode irigasi permukaan, kecuali bila irigasi permukaan tersebut memerlukan perataan yang ekstensif. Diperlukan tenaga penggerak dengan tekanan air yang berkisar antara 0,5 - 10 $kg.cm^{-2}$. Untuk tekstur tanah yang halus dengan laju infiltrasi yang rendah pada areal panas dan berangin irigasi curah tidak efisien. Bila air diberikan dengan laju yang rendah pada tanah-tanah tersebut, prosentase air yang hilang karena evaporasi dan angin meningkat. Pemberian air yang konstant mengurangi biaya investasi peralatan tetapi meningkatkan biaya tenaga kerja.

Keuntungan dan kerugian irigasi curah menurut Ali (2010) adalah:

Keuntungan:

1. Siap untuk otomasisasi
2. Memfasilitasi *chemigation* dan *fertigation*
3. Berkurangnya tenaga kerja yang dibutuhkan
4. Sistem lepa (*low energy precision application*) dapat memberikan jumlah air yang tepat, sangat efisien dan dapat diterapkan pada kisaran kondisi tanah dan topografi yang lebar

Kerugian:

1. Banyak tanaman (contohnya, jeruk) sensitif terhadap kerusakan daun bila air irigasinya mengandung garam
2. Biaya awal pembangunan sistem dan biaya perawatannya (bila diperlukan) tinggi

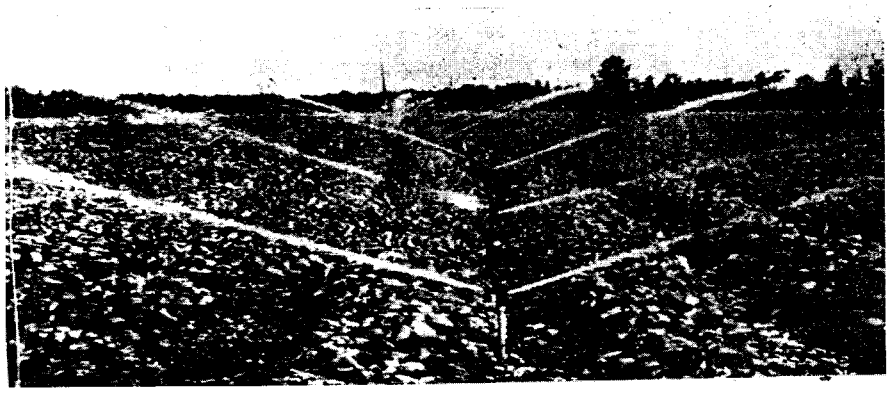
6.3.2 Tipe Irigasi Curah

Terdapat dua tipe irigasi curah berdasarkan penyusunan alat penyemprot:

1. *Rotating Head System*

Metode ini terdiri dari nozel ukuran kecil ditempatkan pada pipa peninggi yang tetap dengan jarak yang sama sepanjang pipa latreral (Gambar 6.16). Pipa lateral biasanya diletakkan di atas permukaan tanah. Irigasi curah tipe rotating, *sprinkle head* dilengkapi dengan alat pemukul yang dapat memutar sampai 90°.

2. *Perforated Pipe System*

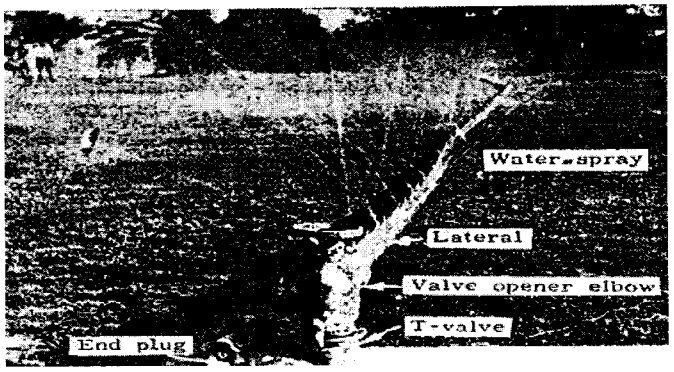


(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.16 *Head Sprinkler Line Sedang Memutar untuk Mengairi Barisan Tanaman*

Metode ini terdiri dari pipa-pipa lateral yang berlubang dengan desain khusus sehingga pola distribusinya merata (Gambar 6.17). Sistem ini biasanya didesain untuk tekanan operasi yang

rendah, antara 0.5 -2.5 kg.cm^{-2}. Tekanannya sangat rendah sehingga sumber tekanan dapat diperoleh dari tangki air yang ditempatkan pada ketinggian tertentu. Semprotan diarahkan ke dua sisi pipa dan dapat mengcakup selebar 6-15m. Sistem ini sesuai untuk tanaman yang tingginya tidak lebih dari 40-60m.Air diberikan pada laju yang relatif tinggi karena itu sesuai untuk tanah yang memiliki laju infiltrasi yang agak tinggi. Sistem ini cocok untuk mengairi lapangan rumput, taman dan kebun sayuran dan tanaman lainnya dengan ketinggian yang tidak melebihi 40-60 cm. Airnya harus bersih melalui filter untuk mencegah penyumbatan pada lubang-lubang kecil.

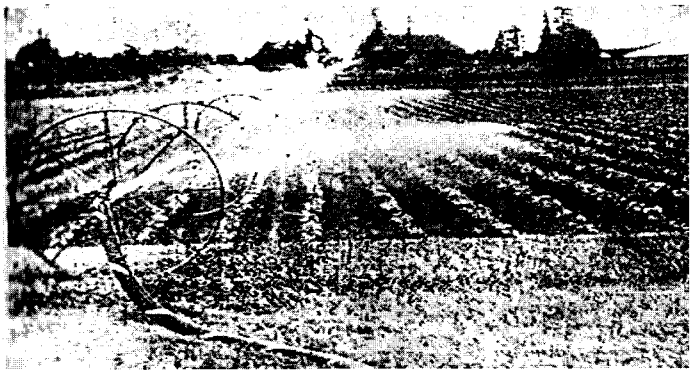


(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.17 *Sistem Irigasi Curah dengan Pipa Berlubang Sedang Memancarkan Airnya*

Berdasarkan kemudahan gerak (*portability*) sistem irigasi curah dibagi ke dalam klasifikasi berikut:

1. *Portable System*:



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.18 *Unit Irigasi Sprinkler yang Portabel Menggunakan Sistem Roda yang Bergerak Pada Lateral di Lapangan*

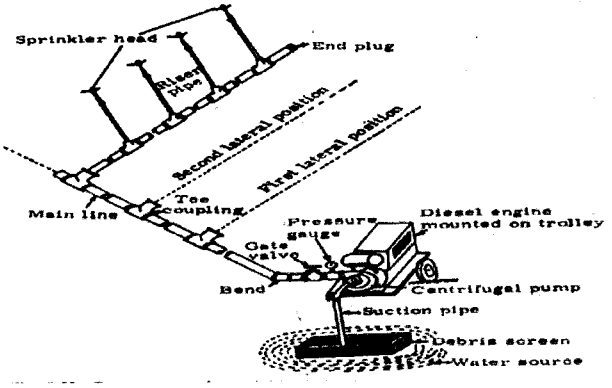
Pipa utama, lateral dan pompa dapat dipindahkan (*Portable*). Didisain untuk dipindah-pindahkan dari suatu bidang (petakan) kepetakan lain pada lahan yang sama (Lihat Gambar

6.18). Sistem ini dapat didesain untuk dipindahkan secara manual (*hand move system*) atau dengan tenaga mekanik (*wheel move system*). Pada sistem ini lateral tersambung pada roda yang bergerak. Sistem dengan tenaga mekanik ini biayanya sangat tinggi tetapi tenaga yang dibutuhkannya sedikit.

2. *Semi-Portable System*:
   Sistem ini, sama dengan *portable system* kecuali lokasi sumber air dan pompa tetap. Beberapa sistem mungkin digunakan pada lebih dari satu petak lahan yang memiliki perpanjangan pipa utama, tetapi tidak dapat digunakan pada lebih dari satu bidang lahan, kecuali ada tambahan stasiun pompa.
3. *Semi Permanent System*:
   Sistem ini mempunyai pipa-pipa lateral yang *portable*, sedangkan pipa utama dan pompa tetap. Pipa utama dan sub-pipa utama biasanya ditanam dengan peninggi untuk nozel ditempatkan pada interval yang sesuai.
4. *Solid -Set System*:
   Sistem ini mempunyai pipa-pipa lateral yang cukup jumlahnya untuk menghindari perpindahan. Pipa-pipa lateral ditempatkan di lahan dekat dengan tanaman. Sistem ini digunakan untuk tanaman yang irigasinya singkat tapi sering.
5. *Permanent System*:
   Pada sistem ini, pipa utama, saluran utama, lateral dibuat secara permanen dan pompa serta sumber air tetap (*stationary*). Biasanya pipa ditanam di bawah lapisan olah. Sprinkler ditempatkan pada setiap riser secara permanen. Beberapa sistem mahal dan cocok utk otomatisasi sistem dilengkapi dengan sensor kelembaban tanah.

6.3.3 Komponen-komponen Irigasi Curah

Sistem irigasi curah terdiri dari pompa sebagai sumber tekanan, pipa utama dan lateral, *riser* dan *sprinkler head* (Lihat Gambar 6.19).

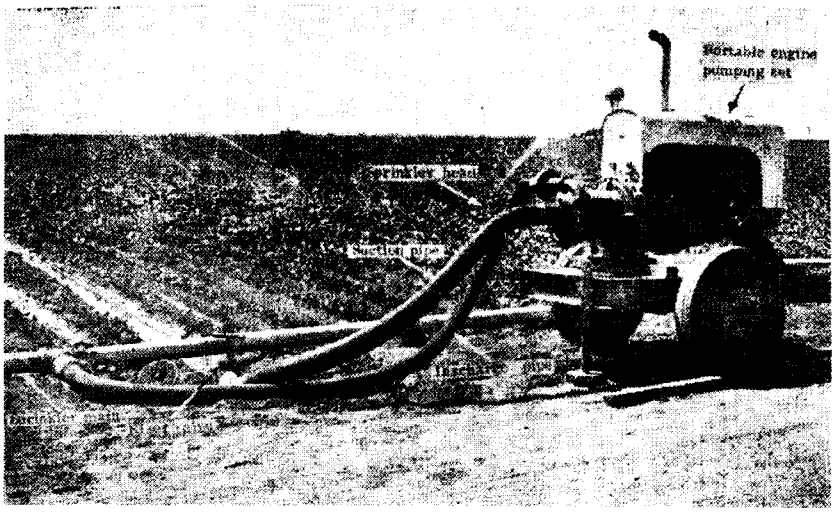


Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.19 *Komponen Sistem Irigasi Sprinkler*

Pumping Set

Pompa biasanya menaikkan air dari sumber dan mendorongnya melalui sistem distribusi dan sprinkler. Pompa juga bisa menggunakan air dari pipa distribusi yang ada dan mendorongnya melalui sistem sprinkler pada tekanan yang diharapkan (Gambar 6.20)



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.20 *Satu Set Mesin Pompa yang Portabel yang Mengambil Air dari Sistem Pendistribusian Perpipaan Air Bawah Tanah untuk Mengoperasikan Sistem Sprinkler yang Portabel*

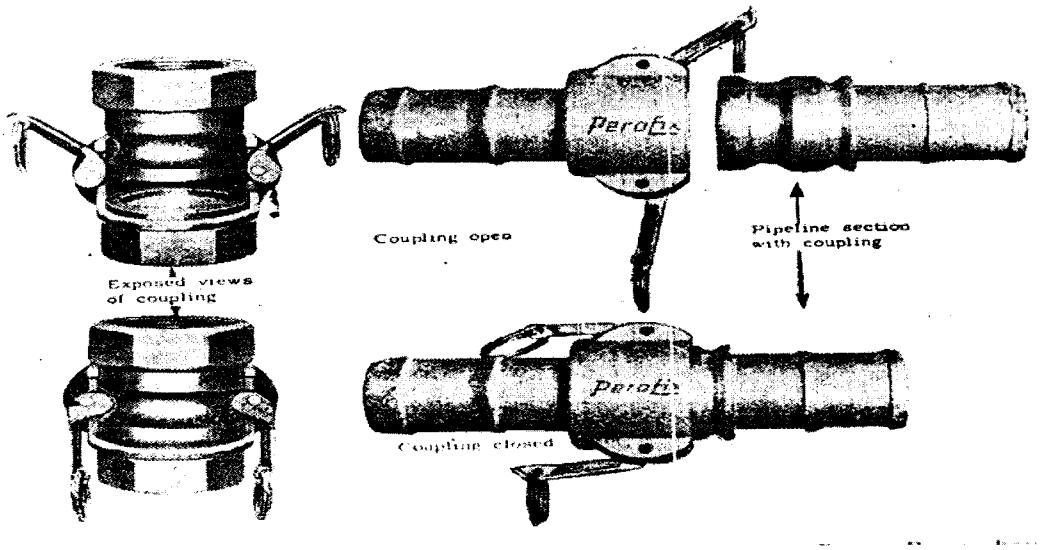
Dalam banyak hal, penting untuk diperhatikan agar pompa dirancang untuk menaikan sejumlah air yang diperlukan dari sumber air ke titik tertinggi di lapangan dan memelihara tekanan operasi yang tepat.

Pipa Utama

Pipa utama bisa permanen atau portable. Pipa utama permanen digunakan untuk memperoleh keuntungan yang terbesar pada lahan pertanian yang luasannya jelas dan tanaman memerlukan *full-season irrigation*. Pipa utamanya biasanya terbuat dari baja (steel pipe), *asbestos cement*, PVC. Namun *concrete-pipe lines* tidak sesuai untuk sistem sprinkler bertekanan tinggi. Pipa permanen harus dibenamkan dalam tanah sehinga tidak mengganggu operasi pertaannya. Untuk pipa-pipa utama yang *portable* biasanya terbuat dari alumunium yang ringan.

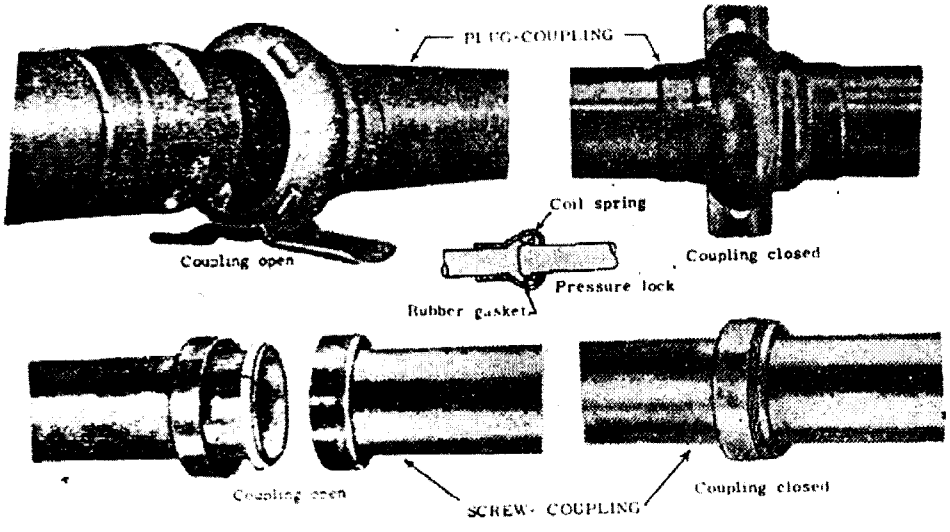
Pipa Lateral

Pipa lateral biasanya portable. Pipa lateral biasanya tersedia dengan ukuran 5,6 atau 12 m. Setiap potongan dilengkapi dengan *quick coupled* untuk menyambung (Gambar 6.21 dan gambar 6.22).



(Perrot-Regnerbau dalam Michael (1978)

Gambar 6.21 *Cardan-Joint Coupling Jaringan Sprinkler*



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.22 *Kopling Tipe Sekrup dan Plug Jaringan Sprinkler*

Sprinkler Head:

Sprinkler head merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem irigasi sprinkler. Karakteristik operasinya tergantung pada tekanan air optimum dan kondisi iklimnya, terutama

kecepatan angin akan menentukan kesesuaian dan efisiensi sistem. Terdapat dua prinsip metode untuk mendapatkan semprotan yang baik yaitu:

1. *Head sprinkler* berputar mempunyai 1,2 atau lebih nozzle, tergantung diameter lingkaran basah yang diinginkan
2. Pipa dengan garis-garis lubang sepanjang atas dan sampingnya .

Klasifikasi putaran head sprinkler tergantung pada selang tekanan dan posisinya dalam hubungannya dengan tanaman. Tabel 6.1. menunjukkan selang tekanan operasional sprinkler, karakteristik dan kesesuaian sprinkler.

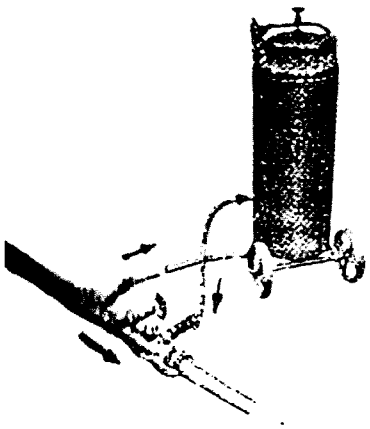
Tabel 6.1 *Klasifikasi Putaran Head Sprinkler, Karakteristik serta Kesesuaiannya*

Type of spinkler	***Gravity-fed under tree sprinkler system***	***Normal under tree spikler system***	***Permanent overhead system***	***Small overhead system***	***Low pressure system***	***Intermediate pressure system***	***High pressure system***
Pressure range	*0,7 to 1.0 kg/sq cm*	*1 to 2.5 kg/sq cm*	*3.5 to 4.5 k/sq cm*	*2,5 to 4 kg/sq cm*	*1.5 to 2.5 kg/sq cm*	*2.5 to 5 kg/sq cm*	*5 to 10 kg/sq cm*
Sprinkler discharge	0.06 to 0.25 li/sec	0.06 to 0.25/li/sec	0.2 to 0.6 li/sec	0.6 to 2.0 li/sec	0.3 to 1 li/sec	2 to 10 li/sec	10 to 50 lit/sec
Diameter of nozzles	1 to 6 mm	1.5 to 6 mm	3 to 6 mm	6 to 10 mm	3 to 6 mm	10 to 20 mm	20 to 40 mm
Diameter of coverage	10 to 14 m	6 to 23 m	30 to 45 m	25 to 35 m	20 to 35 m	40 to 80 m	80 to 140 m
Range of sprinkler spacing (square)	-	-	18 to 30 m	9 to 24 m	9 to 18 m	24 to 54 m	54 to 100 m
Recommended speed of sprinkler rotations	-	0.5 to 1 rpm	1 rpm	0.67 rpm	0.5 to 1 rpm	0.7 rpm	0.5 rpm
Adaptability	Usually uses single nozzle springkler heads used as under tree system in uplands, has low uniformity of coverage	Usually used in closely spaced orchards with full low hanging branches, single nozzle slow rotation springklers are often used	Used for orchads. Triangular spacing necessary for low application rates (1.5 to 3 mm/hr)	Commonly used for low rate of application (3.5 to 6 mm/hr) and to help reduce the effects of wind. high risers are used for orchads and lower risers for field crops.	Two nozzle sprinklers can be used with lower pressures than single nozlle sprinklers. More overlap is required. rate of application tends to be high.	Usually single nozzle sprinklers, rates of application range from 6 to 12 mm/hr, suitable for supplement al irrigation, unsuitable under windy conditions.	Used in dense high planting. Unsuitab le where there is apprecia ble wind.

Source: Michael, 1978

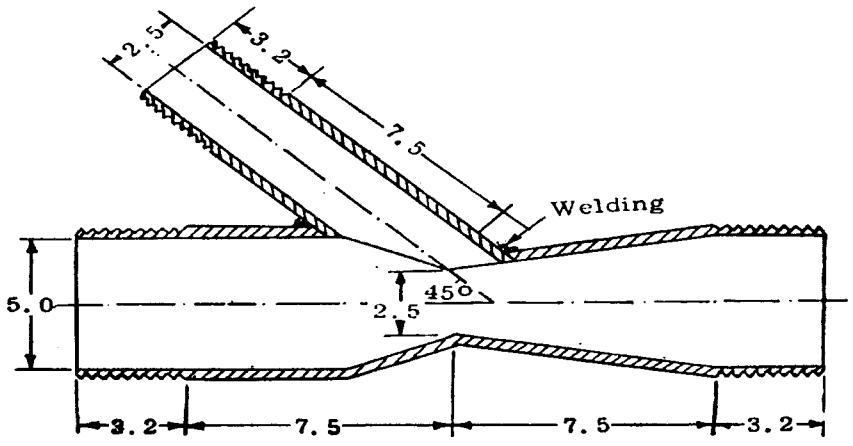
6.3.4 Penggunaan Pupuk

Larutan pupuk kimia dapat di injeksikan ke dalam sistem sprinkler dan diaplikasikan pada tanaman. Larutan pupuk disimpan dalam suatu tanki (Gambar 6.23) dan dihubungkan melalui suatu venturi (Gambar 6.24) untuk mendapatkan perbedaan tekanan, sehingga larutan pupuk dapat mengalir bersama-sama dengan air irigasi.



(Sumber: Michael 1978)

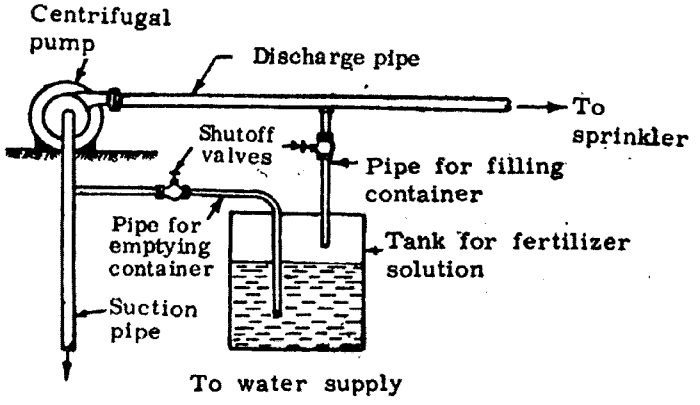
Gambar 6.23 *Tangki Pupuk di atas Lateral Sistem Sprinkler*



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.24 *Venturi Digunakan Bersamaan Pemberian Pupuk*

Larutan pupuk dapat pula dihubungkan melalui pipa isap dari pompa (Gambar 6.25) Sistem ini lebih sederhana tapi harus hati-hati pemakaiannya karena merusak impeler pompa menjadi karatan.

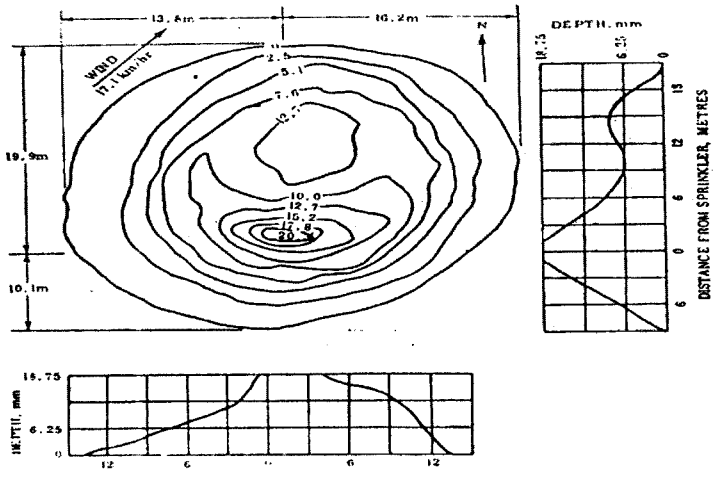


(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.25 *Metode Penambahan Pupuk Cair Melalui Bagian Pengisapan Pompa Sentrifugal*

6.3.5 Pola Penyebaran Kelembaban dan Keseragaman Cakupannya

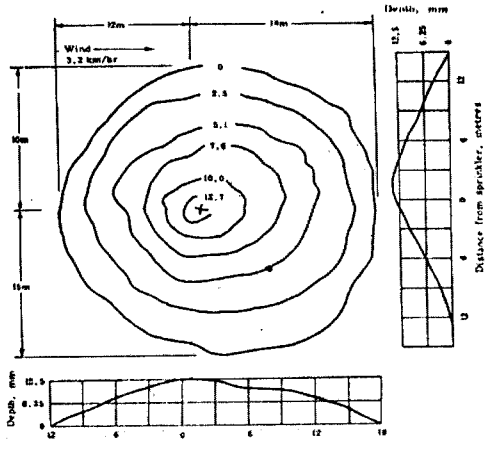
Tujuan irigasi curah adalah untuk meniru hujan sehingga didapatkan penyebaran air irigasi yang seragam di seluruh areal. Efisiensi irigasi sprinkler tergantung pada derajat keseragaman pemberian air. Karakteristik distribusi penyemprotan *sprinkler head typical* dan berubah tergantung pada ukuran nozel dan tekanan operasi. Keseragaman pemakaian air dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin, karekteristik penyemprotan air dari nozzle dan jarak antara nozzle.



(Sumber: Michael 1978)

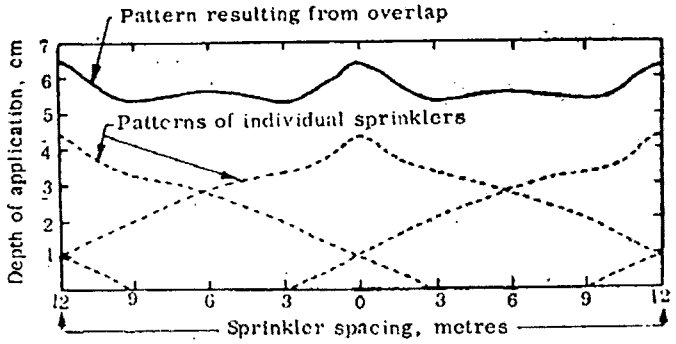
Gambar 6.26 *Pola Distribusi Kelembaban Head Sprinkler Berputar pada Kondisi Berangin*

Pengaruh kecepatan angin pada pola penyebaran air dapat dilihat dari Gambar 6.26 dan 6.27. Sedangkan pengaruh jarak antar nozzle dapat dilihat pada gambar 6.28.



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.27 *Pola Distribusi Kelembaban Head Sprinkler Beraputar pada Kondisi Angin dan Tekanan yang Menguntungkan*



(Sumber: Michael 1978)

Gambar 6.28 *Pola Distribusi Kelembaban dari Overlap Sprinkler*

6.3.6 Koefisien Keseragaman (Cu)

Koefisien keseragaman (Cu) dipengaruhi oleh hubungan antara tekanan-ukuran nozzle, jarak sprinkler dan kondisi angin. Menurut Chistiansen (1942) dalam Michael (1988) Cu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{Cu} = 100(1.0 - \frac{\sum \mathbf{X}}{\mathbf{mn}}) \qquad (6.1)$$

Di mana,

Cu = Koefisien Uniformitas

m = Nilai rata-rata pengamatan (*average application rate*), mm.

n = Jumlah total pengamatan
X = Deviasi dari masing-masing pengamatan terhadap nilai rata-rata (mm)
Cu = 85 %, dianggap cukup baik untuk irigasi curah.

Data mengenai Cu berguna sebagai dasar pemilihan kombinasi jarak, Debit, ukuran nozzle dan tekanan operasional.

6.4 IRIGASI TETES

Menurut Michael (1978), irigasi tetes (*Trickle Irrigation*) merupakan satu dari metode irigasi yang terakhir yang popularitasnya meningkat pada areal yang kekurangan air dan mengalami masalah penggaraman. Irigasi tetes adalah metode pemberian air yang sering dengan volume air yang disesuaikan dengan penggunaan air tanaman, sehingga meminimalkan kehilangan air karena perkolasi, aliran permukaan dan evaporasi. Sistem ini memberikan air dengan lambat untuk mempertahankan kelembaban tanah pada selang yang diharapkan untuk pertumbuhan tanaman.

Irigasi tetes adalah pemberian air yang sering dan lambat baik ke permukaan lahan maupun kedalam zone perakaran tanaman. Irigasi tetes didasarkan pada konsep dasar pemberian air hanya pada zone perakaran tanaman dan memelihara kandungan air pada zone perakaran mendekati kondisi optimum (James, 1988).

Keuntungan dan kerugian irigasi tetes menurut Ali (2010) adalah:

Keuntungan:

1. Sistem sangat efisien
2. Hemat air
3. Dapat menggunakan sumbe air yang terbatas
4. Dapat memberikan volume air yang benar pada zone perakaran
5. Sistem dapat menggunakan otomatisasi dan penerapan *chemigation* dan *fertigation* dapat dilakukan dengan baik
6. Mengurangi pencucian unsur hara, kebutuhan tenaga kerja, dan biaya operasi
7. Ketika irigasi berjalan, kegiatan operasi lainnya di lahan bisa dilakukan, seperti pemanennan dan penyemprotan.
8. Setiap tanaman di lahan menerima jumlah air yang relatif sama
9. Tekanan yang rendah dibutuhkan untuk mengoperasikan sistem sehingga mengurangi energi untuk pemompaan

Kerugian/ Keterbatasan:

1. Tingginya biaya awal
2. Dibutuhkan tenaga teknis yang terampil untuk memelihara dan mengoperasikan sistem
3. Makin pendek jarak emiter, biaya sistem per ha makin tinggi
4. Kemungkinan terjadinya kerusakan pada pita irigasi tetes (*drip tape*)

5. Tidak dapat membasahi tanah secara cepat (untuk penyembuhan akibat irigasi defisit) dibandingkan dengan isstem lainnya
6. Memfasilitasi zone perakaran yang dangkal
7. Memerlukan air yang bersih.

6.4.1 Macam-macam Irigasi Tetes

Menurut James (1988), irigasi tetes terdiri dari beberapa metode:

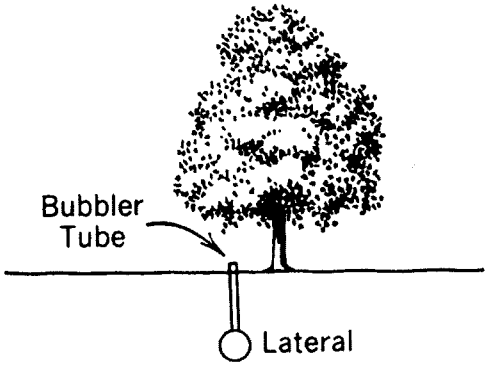
1. *Drip irrigation*
2. *Subsurface irrigation*
3. *Bubbler irrigation*
4. *Spray Irrigation*

a. *Drip irrigation* adalah pemberian air yang kontiyu, lambat, dan berupa tetesan. air dapat diberikan sebagai *single point* (membasahi area yang kecil) pada permukaan lahan melalui peralatan yang disebut *emitter* atau berupa *line source*. Air diberikan dengan menggunakan *point source emitter* dan umumnya laju pemberian air < 12 lt/jam (3 gph) dan < 12 lt/jam per meter (1 gph per foot) dari lateral pada *line source emitter.*

b. *Subsurface Irrigation* ini pemberian air melalui emitter di bawah permukaan tanah menggunakan *point* dan *line source emitter.* Metode ini berbeda dengan irigasi bawah permukaan (subirrigation) yaitu irigasi pada zone perakaran dengan pengaturan *water table.* Laju aplikasi metode ini sama dengan metode *drip irrigation.*

c. *Bubbler irrigation,* air diberikan pada permukaan lahan berupa aliran kecil. Air disebarkan melalui *tube* yang dihubungkan dengan lateral yang terbenam *(buried lateral)* seperti pada Gambar 6.28. Diameter tube 10 mm (3/8 in). Laju pemberian air diatur berdasarkan diameter dan panjang tube. Laju pemberian air umumnya < 225 l / jam (1 gpm)

d. *Spray irrigation* adalah irigasi dengan menggunakan *micro sprinkler* yang memancarkan air seperti kabut kepermukaan lahan. Laju pemberian biasanya < 115 lt/jam (0.5 gpm).

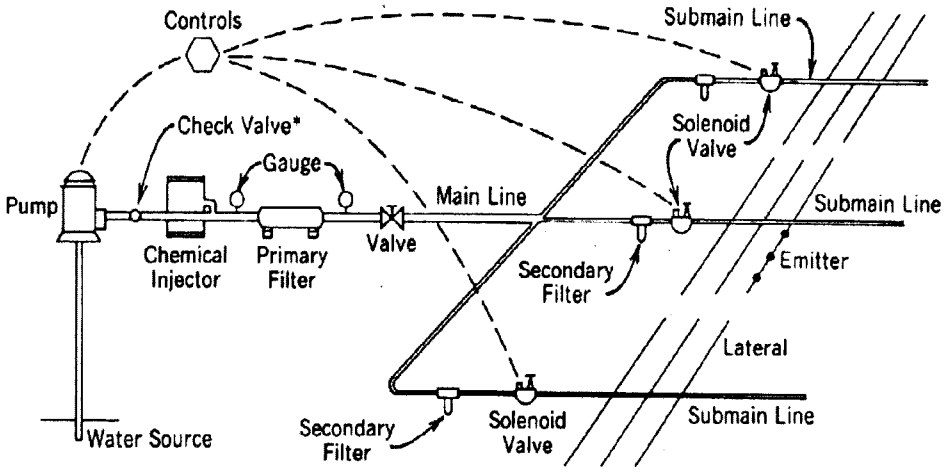


(Sumber, James, 1988)

Gambar 6.29 *Sistem Irigasi Tetes Tipe Bubbler*

6.4.2 Komponen Sistem Irigasi Tetes

Beberapa komponen sistem irigasi tetes seperti terlihat pada Gambar 6.30 berikut:



(Sumber, James, 1988)

Gambar 6.30 *Komponen Sistem Irigasi Tetes*

Air dipompa dan masuk ke sistem irigasi dan mengalir melalui *valve, filter, main line, submain* dan *lateral*, kemudian diberikan kepada tanaman melalui *point-source emiter, bubblers* atau *microsprinklers.*

Check valve yang ditempatkan setelah pompa, dibuka bila air mengalir dari pompa dan ditutup bila pompa dimatikan. Air mengalir menjauhi pompa. Hal ini untuk mencegah terjadinya aliran balik sehingga bahan-bahan terlarut (seperti pupuk, pestisida) tidak masuk ke sumber air melalui pompa. Pupuk dan bahan kimia biasanya dimasukan kedalam sistem irigasi tetes sebelum air memasuki Filter.

Menurut Kusnadi (1985) secara umum Komponen Irigasi tetes adalah:

1. Unit *control head*
2. Pipa utama (*main line*)
3. Pipa sub utama (*sub main line*)
4. Pipa lateral (*Lateral*)
5. Pemancar (*emitter*)

1. *Unit Control Head*

Unit control head digunakan untuk mengendalikan tekanan debit dan kualitas air. *Control head* terdiri dari pompa, filter, perlengkapan suntikan (bahan kimia), pencegahan aliran balik, pengukur aliran, pengukur tekanan, katup dan kontrol otomatis.

a. Pompa
   Pompa digunakan untuk menaikan air dari kolam, sumur, sungai atau bak penampungan dan untuk memberikan tekanan untuk operasi sistem irigasi tetes. Pompa yang digunakan bisa pompa horizontal maupun centrifugal.
b. Filter
   Filter sangat penting untuk mengontrol sumbatan pada sistem irigasi tetes. Beberapa tipe filter diantranya: *Media screen, Cartridge filters* dan *Centrifugal separator.*
c. Perlengkapan suntikan
   Kedalaman sistem irigasi tetes biasanya sudah termasuk perlengkapan untuk mengukur bahan kimia atau pupuk yang dimasukkan ke dalam sistem irigasi tersebut. Suntikan bahan kimia dibutuhkan agar tekanan bahan kimia tersebut lebih besar dari tekanan opreasi sistem irigasi tetes.
d. Pencegahan aliran aliran balik (*check valve*)
   Pencegahan aliran balik ini diperlukan untuk mencegah terkontaminasinya sumber air pada saat kedalaman sistem irigasi dimasukan pupuk atau bahan kimia lainnya. Pencegahan aliran balik ini bisa satu atau beberapa *check valve* yang disusun secara serius.
e. Pengukuran aliran
   Pengukuran aliran digunakan untuk membantu sistem pengelolaan dan menentukan kebutuhan air untuk sistem irigasi tetes.
f. Pengukur tekanan
   Pengukur tekanan ditempatkan sebelum dan sesudah filter untuk menentukan kebutuhan pemeliharaan filter.
h. Kontrol otomatis
   Control head pada *automatic trickle system* terdiri dari beberapa kontrol. Kontrol tersebut ada yang bervariasi dari jam mekanis yang dapat membuka dan menutup valve tunggal dengan melakukan pengaturan waktu/jadwal dan hubungan dengan microcumputer yang telah diprogram untuk memantau tanah dan iklim dengan sensor, menentukan kapan mulai dan berakhirnya irigasi. Mulai dan berakhirnya program serta membuka dan menutupnya *valve* dan mengingat pupuk dan air yang digunakan. Banyak pengontrol yang dapat digunakan untuk mendiagnosa kesalahan fungsi sistem dan melakukan tindakan koreksi. Beberapa di antaranya sering mematikan sistem bila ada badai hujan dan menghidupkan kembali bila badai berhenti.
g. Katup
   Katup adalah bagian integral dari pipa bertekanan yang digunakan dalam sistem irigasi. Katup-katup tersebut digunakan untuk membuka dan menutup, pengaturan aliran dan tekanan, pngontrolan gelombang, pembebesan tekanan dan kompa udara pelepasan udara dan pencegahan aliran balik.

2. Pipa Utama dan Pipa Sekunder

Pipa utama dan pipa sub-utama biasanya terbuat dari PVC. Setiap pipa utama dan sub-utama harus memiliki katup baik manual maupun yang otomatis pada ujung sebelah hulu untuk melayani

penutupan dan pembukaan aliran dan isolasi. Dianjurkan agar pada ujung hilir pipa utama dan sekunder dipasang juga katup untuk memudahkan pencucian secara periodik. Pipa sub-utama juga harus memiliki katup pengatur tekanan, pengontrolan aliran, fiter sekunder, pengukuran aliran dan pengukuran aliran.

3. Pipa Lateral

Pipa lateral membawa air dari pipa utama dan sub-utama keperalatan emisi. Lateral untuk *point - source emitters* dibuat dari bahan-bahan *polyethylene, butylene,* atau PVC dan diameternya bervariasi dari 10 - 20 mm. Lateral untuk *microsprinkklers and bubblers* juga dibuat dari bahan yang sama tetapi ukurannya > 20 mm.

Pipa lateral pada irigasi tetes didesain untuk memelihara berbagai peralatan emisi yang dapat digunakan di sepanjang pipa. Perbedaan tekanan pada pemancar lateral yang disebabkan oleh pipa, kehilangan dan perubahan elevasi debit pemancar. Faktor lainnya yang memengaruhi debit pemancar adalah temperatur air dan kualitas pembuatannya.

4. Pemancar

Peralatan pemancar meliputi *point source* dan *line source emitters* yang dapat dioperasikan di atas atau di bawah permukaan tanah, *bubblers* yang debit kecil dengan aliran kontinyu, dan *icrosprinkler* yang memancarkan air di permukaan lahan.

-oo0oo-

BAB VII

PENGUKURAN ALIRAN

Dalam program pengelolaan dan pemeliharaan irigasi yang efektif perlu diketahui jumlah dan laju penggunaan air. Data yang menggambarkan volume air yang digunakan dan atau laju volume aliran (volume per unit waktu) sangat bernilai dalam pengendalian pemberian air dan mendeteksi perubahan penampilan karena tidak berfungsinya sistem atau masalah pemeliharaan (James, 1988). Pengelolaan air dimaksudkan agar air irigasi dapat sampai ke lahan pada waktu dan jumlah yang tepat. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran debit air agar jumlah air yang dikelola diketahui dengan pasti.

Selanjutnya menurut Ali (2010), pengukuran air irigasi sangat penting untuk membuat rekomendasi pada praktek irigasi lahan pertanian untuk mengurangi kehilangan air. Pengukuran, monitoring, kontrol aliran pada jaringan penting untuk distribusi air irigasi yang wajar. Keuntungan lain pengukuran aliran (pompa irigasi, sungai, saluran utama dan tersier, dsb.) adalah:

1. Untuk neraca air hidrologis
2. Mendokumentasi kebutuhan air
3. Menilai air yang digunakan
4. Menngembangkan rencana pengelolaan air untuk oenggunaan air yang efektif
5. Mendokumentasi data dasar ketersediaan air untuk
6. Mengevaluasi setiap perubahan dan pengaruhnya pada tata guna lahan dan lingkungan di masa depan
7. Mendokumentasi penggunaan air atau laju debit untuk evaluasi kinerja proyek pengembangan air
8. Memugkinkan penyedia irigasi mengontrol volume suplai air pada jaringan
9. Memungkinkan Perkumpulan Petani Pemakai Air untuk mengechek aliran yang diberikan.

7.1 PENGUKURAN DEBIT DI SALURAN TERBUKA

Menurut James (1988), ada beberapa metode pengukuran debit pada saluran irigasi terbuka, diantaranya adalah:

1. Volumetric method,
2. Velocity area method,
3. Control section method
4. Dilution method

7.1.1 *Volumetric Method*

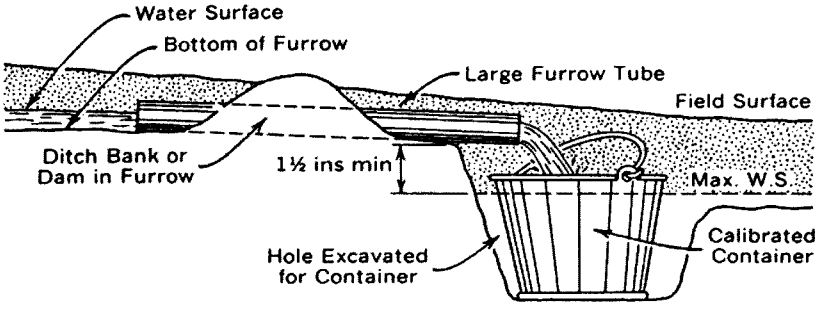
Pada metode ini waktu yang dibutuhkan aliran untuk memenuhi suatu wadah/ kontainer (ember) diukur. Debit aliran ditentukan dengan membagi volume kontainer tersebut dengan waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi kontainer tersebut.

$$Q = V / t \qquad 7.1$$

di mana,

Q = Debit aliran, Vdt
V = Volume kontainer, liter
t = Waktu yang dibutuhkan aliran untuk memenuhi kontainer, detik

Instalasi untuk mengukur aliran alur dengan metode volumetrik diperlihatkan pada Gambar 7.1 berikut:



(Sumber: James, 1988)

Gambar 7.1 *Pengukuran Aliran pada Irigasi Alur Secara Volumetric*

7.1.2 *Velocity Area Method*

Pada metode ini pendekatan dilakukan dengan pengukuran kecepatan aliran (*velocity*) dan luas penampang aliran, dengan menggunakan persamaan:

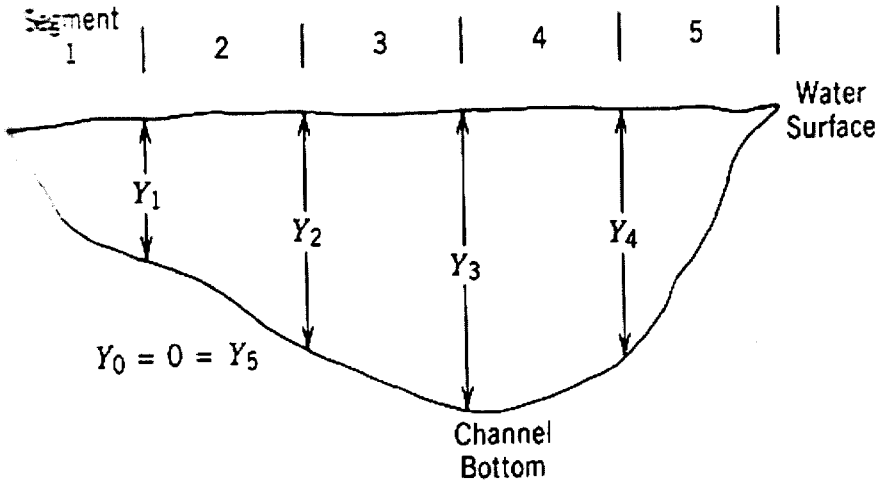
$$Q = KVA \qquad 7.2$$

di mana,

Q = Debit aliran, l/dt
V = Kecepatan aliran rata-rata, m/dt
A = Luas penampang aliran, m^2
K = Konstanta (K = 1000 untuk Q dim l/ dt, V dim m/ dt, dan A dlm m^2)

Luas Penampang Aliran

Pada penampang aliran yang lebar dan atau bentuknya tidak beraturan biasanya dibagi kedalam beberapa segmen seperti terlihat pada Gambar 7.2. Luas penampang aliran adalah jumlah luas seluruh segmen tcrsebut.



(Sumber: James, 1988)

Gambar 7.2 *Penampang Melintang pada Saluran Terbuka yang Dibagi ke dalam 5 Segmen*

Kecepatan

Pengukuran kecepatan aliran bisa dilakukan dengan beberapa metode:

a. Metode pelampung,
b. *Current meter,*dan
c. *Tracer methods*

a. Metode Pelampung

Metode ini biasanya dilakukan pada saluran yang lurus dan cukup panjang dengan penampang saluran yang seragam, dan aliran bersifat laminer. Pelampung dihanyutkan di sebelah atas titik pengukuran, dan waktu tempuh pelampung diukur pada titik tengah penampang mernanjang, dan pada titk akhir pengukuran dicatat.

Kecepatan aliran dihitung dengan persamaan:

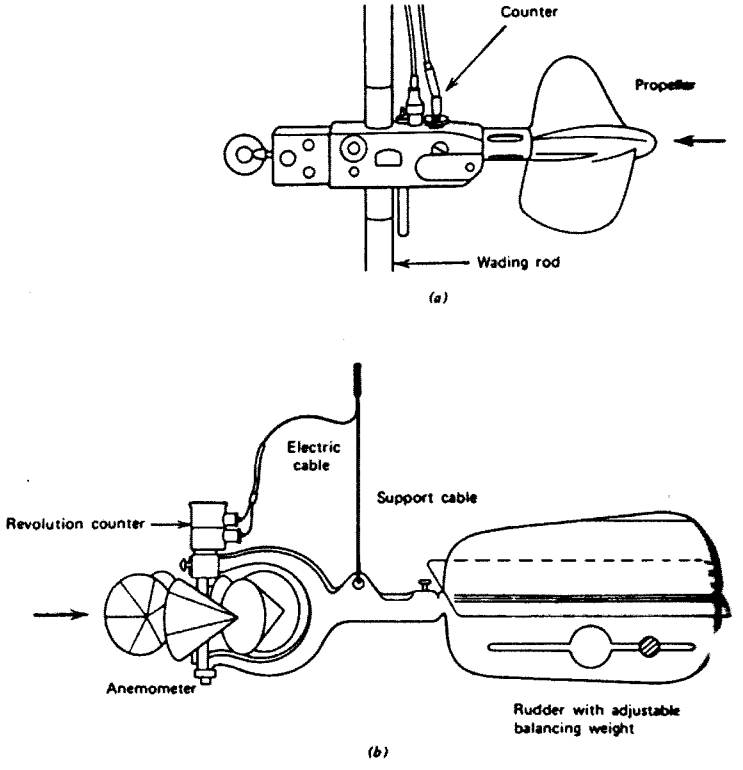
$$V = \frac{L}{t} \qquad 7.3$$

di mana,

V = Kecepatan aliran, m/ dt
L = Panjang penampang memanjang saluran yang diukur, m
t = Waktu tempuh rata-rata, detik

b. *Current Meter*

Metode ini dilakukan dengan menggunakan alat pengukur arus (current meter), yaitu dengan mencatat putaran impeler karena adanya arus air per satuan waktu tertentu (mis. 40 detik). Terdapat dua tipe *current meter*, yaitu tipe propeller dan price-type seperti pada Gambar 7.3 berikut:



(Sumber: James, 1988)

Gambar 7.3 *Current Meter Tipe Propeller* (a) dan tipe *Price* (b)

Setiap alat pengukur arus ini memiliki kurva kalibrasi atau persamaan tersendiri. Dengan menggunakan persamaan tersebut maka berdasarkan data putaran terukur, kecepatan aliran dapat diketahui.

Pengukuran dilakukan pada setiap segmen dan kemudian dihitung kecepatan rata- rata aliran. Rumus umum alat pengukur arus tersebut:

$$V = an + b \qquad 7.4$$

di mana,

v = Kecepatan, m/dt
n = Jumlah putaran per detik
a, b = Konstanta

c. *Tracer Methods*

Pada metode ini, waktu yang dibutuhkan jejak muatan kimia berjalan melalui badan aliran yang diketahui panjangnya diukur dan digunakan untuk menghitung kecepatan dengan membagi panjang badan aliran dengan waktu tempuh. *Dye tracers* seperti fluorescein atau kalium permanganat dapat dideteksi secara visual. Bila *tracer* nya garam (NaCl), elektroda ditempatkan pada akhir dari badan aliran yang digunakan untuk menentukan saat *tracer* memasuki dan meninggalkan badan aliran.

7.1.3 *Control Section Method*

Metode ini menggunakan bangunan yang terkontrol baik alami atau buatan dan telah memiliki kurva hubungan antara kedalaman aliran dan debit (kurva aliran) yang stabil. Debit ditentukan dari pengukuran tinggi aliran dengan menggunakan kurva aliran pada bagian badan aliran yang terkendali. Kurva aliran ditentukan dengan kalibrasi di lapangan atau di laboratorium dan dianalisis menggunakan prinsip konservasi energi dan teori lapisan pembatas (Bos *et.al.*,1984 dalam James, 1988).

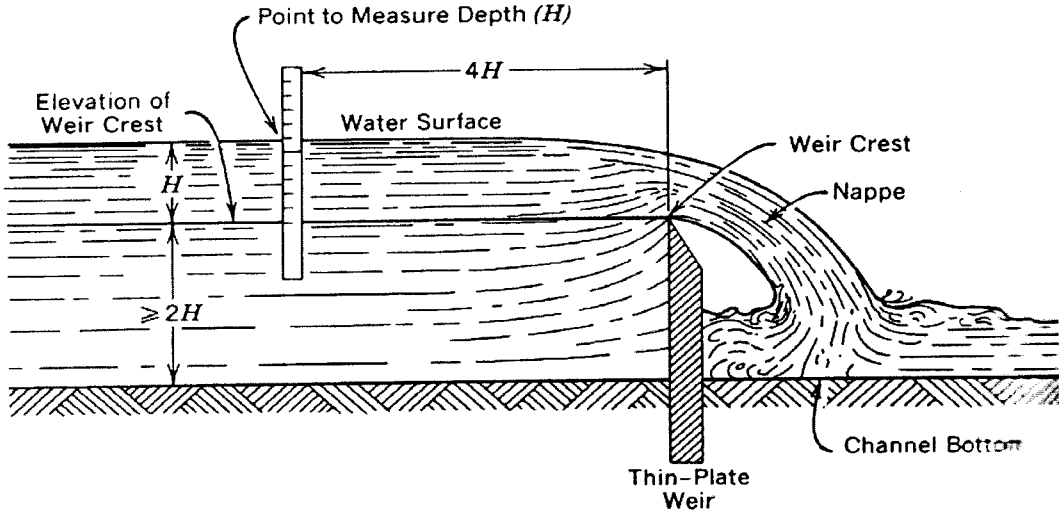
Badan aliran alami yang terkendali (natural control) adalah penampang melintang atau saluran yang penampang melintangnya, kemiringan, dan kekasarannya tetap, relatif konstan dan tidak ada *tailwater*. Pada situasi tidak ada *natural control* yang cocok, dibangun/ dipasang peralatan pengukur aliran, meliputi ambang ukur yang tipis (thin plate weirs), *flumes*, dan *orifices* untuk mendapatkan kurva aliran yang stabil.

7.1.3.1 *Natural Controls*

Hubungan antara tinggi aliran dan debit pada *natural control* disebut *rating curves* (kurva aliran), biasanya dikembangkan di lapangan pada kisaran aliran yang lebar menggunakan *velocity-area method*. Kurva aliran berubah karena beberapa hal seperti akumulasi sedimen, harus dipertimbangkan untuk ketepatan pengukuran aliran. Manual pengukuran air yang disusun oleh US Bureau of Reckamation (1975 dalam James, 1988) memberikan prosedur untuk pengembangan kurva lairan dengan menggunakan *velocity-area method* dan pengukuran dengan menggunakan tinggi muka air.

7.1.3.2 *Thin Plate Weir*

Thin plate weir (ambang ukur yang tipis), disebut juga *sharp-crested weirs*, terdiri dari plat yang rata, vertikal dan halus, dipasang melintang saluran dan tegak lurus terhadap aliran. Plat menghalangi aliran menyebabkan adanya meningginya aliran di belakang plat weir dan mengalir melalui ambang (crest) weir seperti terlihat pada Gambar 7.4. Jarak antara antara dasar saluran dengan ambang weir adalah tinggi ambang. Kedalaman aliran melalui ambang weir (diukur pada jarak tertentu pada bagian hulu ambang ukur) disebut head. Aliran yang melalui melalui ambang disebut *nappe*.



(Sumber: James, 1988)

Gambar 7.4 *Profile Ambang Ukur yang Tipis (Thin-Plane Weir)*

Bentuk ambang yang dikenal secara umum adalah *rectangular, triangular, trapezoidal.*

a. *Full-Width Weirs*

Full-width Weirs (ambang ukur lebar) disebut *suppressed rectangular weirs* karena sisi-sisinya kebetulan sesuai dengan saluran dan memungkinkan tidak ada kontraksi lateral dari *nappe*. Debit dari weir ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$\mathbf{Q = KbH^{3/2}} \qquad (7.5)$$

Untuk $H < P/2$

$H > 6$ cm (0,2 ft)

$P > 0,3$ m (1ft)

Di mana,

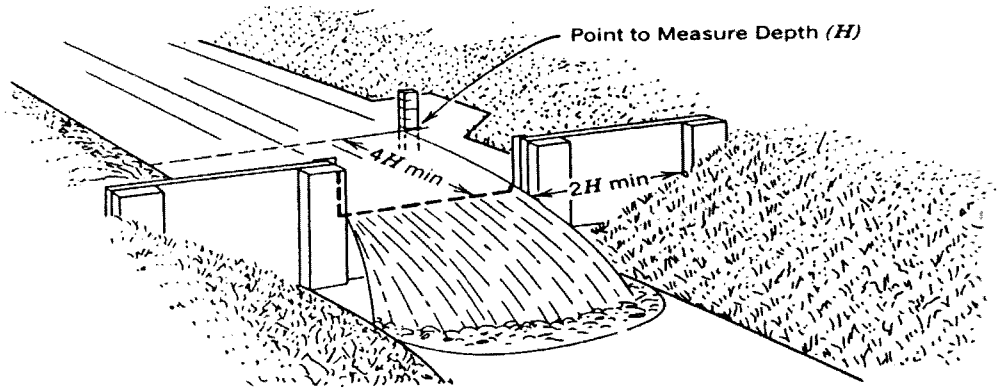
Q = Debit (l/s,gpm.cfs)
b = lebar ambang (m,ft)
H = Jarak antara ambang dengan permukaan air bagian hulu dengan jarak dari weir empat kali head maksimum dari ambang (m,ft)
P = tinggi ambang (m,ft)
K = Konstanta. (K = 1838 untuk Q dalam l/s serta b dan H dalam m, K = 1495 untuk Q dalam gpm serta b dan H dalam ft, dan K = 3.33 untuk Q dalam cfs serta b dan H dalam ft.)

b. *Contracted Rectangular Weir*

Gambar 7.5 menunjukkan *Contracted Rectangular weir*. Dengan mempertimbangkan adanya kontraksi, sisi *weir notch* harus cukup jauh dari sisi saluran agar terjadi kontraksi horisontal yang penuh dari *nappe*. Hal inimembutuhkan jarak dari sisi weir ke titik pengukuran minimal dua kali head dan tidak kurang dari 0,3 m (1 ft) (USBR, 1975 dalam James, 1988).

Persamaan yang digunakan adalah:

$$\mathbf{Q = K(b - 0{,}2H)H^{3/2}} \qquad 7.6$$



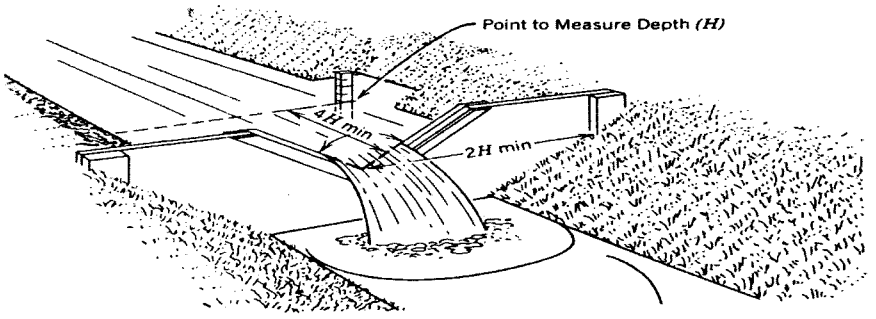
(Sumber: James, 1988)

Gambar 7.5 *Ambang Ukur Segi Empat*

c. Triangular (V-Notch) Weirs

Plat tipis ambang segitiga atau V-notch weir merupakan alat ukur yang akurat, khususnya untuk aliran yang < 30 l/dt (450 gpm) dan sama akuratnya dengan weir plat tipis tipe lainnya untuk aliran dari 30 sampai dengan 300 l/dt (USBR, 1975 dalam James, 1988) (Gambar 7.6).

Untuk ketepatan pengoperasiannya, ambang segitiga harus dipasang dengan jarak minimum dari titik pengukuran ke ambang adalah dua kali *head* pada ambang. Kemudian jarak dari dasar saluran ke ujung ambang minimum harus dua kali head pada ambang (USBR, 1975 dalam James, 1988).



(Sumber: James 1988)

Gambar 7.6 *Ambang Ukur Segitiga (V-notch, Thin Plate Weir)*

Persamaan ambang segitiga menurut James (1988) adalah:

$$Q = K_1 C_d \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h_e^{5/2} \qquad 7.7$$

$$h_e = H + K_2 k_h$$

Di mana,

C_d = koefisien debit dari Gambar 7.7

θ = derajat sudut ambang segitiga

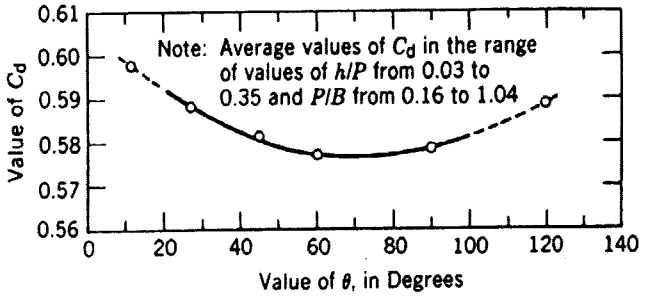
h_e = *head* efektif (m,ft)

H = Jarak antara ambang dengan permukaan air bagian hulu dengan jarak dari weir empat kali head maksimum dari ambang (m,ft)

k_h = konstanta dari Gambar 7.8

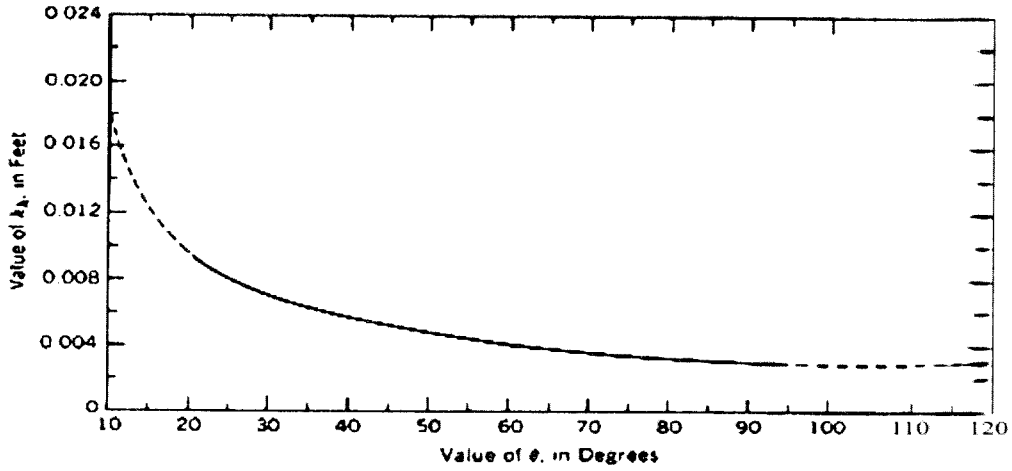
K_i = Konstanta. ($K_1 = 2362$ untuk Q dalam l/s serta h, H dan k dalam m, $K_1 = 1920$ untuk Q dalam gpm serta b,H dan k dalam ft,)

K_2 = Konstanta ($K_2 = 3.28$ untuk H dalam m., $K_2 = 1.00$ untuk H dlam ft)



(Shen, 1981 dalam James,1988)

Gambar 7.7 *Koefisien Debit (C_d pada Persamaan 7.7)*



(Shen, 1981 dalam James, 1988)

Gambar 7.8 *Nilai k_h (pada Persamaan 7.8)*

d. *Trapezoidal Weirs*

Satu tipe *trapezoidal weir* (trapesium) adalah ambang Cipolletti sama dengan *thin-plate weir* lainnya, tinggi ujung weir (*weir crest*) diatas dasar saluran minimum dua kali *head* aliran yang melalui ujung ambang dan jarak dari sisi ambang ukur ke sisi saluran seharusnya juga dua kali *head* tersebut (USBR, 1975 dalam James, 1988).

Persamaan yang menggambarkan hubungan tinggi dan debit aliran pada ambang ukur Cipolletti menurut James (1988) adalah:

$$Q = KbH^{3/2} \qquad 7.8$$

di mana,

K = Konstanta (K = 1859 untuk Q dalam l/s serta b dan H dalam m, K_1 = 1511 untuk Q dalam gpm serta b dan H dalam ft, K = 3.367 untuk Q dalam cfs serta b dan H dalam ft.)

7.1.3.3 *Flumes*

Flume adalah ambang ukur berbentuk saluran yang khusus dibangun atau dipasang pada saluran terbuka untuk mendapatkan kurva aliran (stage-discharge relationship) yang stabil untuk pengukuran aliran. Flume memiliki bagian pertemuan (converging section) pada inlet (masukan) yang langsung mengalir ke bagian yang dasarnya miring dan menyempit yang disebut *throat* (tenggorokan). Pada bagian inlet merupakan transisi antara saluran dengan *throat*. Bagian hilir throat adalah bagian keluaran yang menyebar (diverging outlet) yang mengembalikan aliran ke saluran. *Throat* berfungsi bangunan kontrol dan menghasilkan kurva aliran yang unik (hubungan

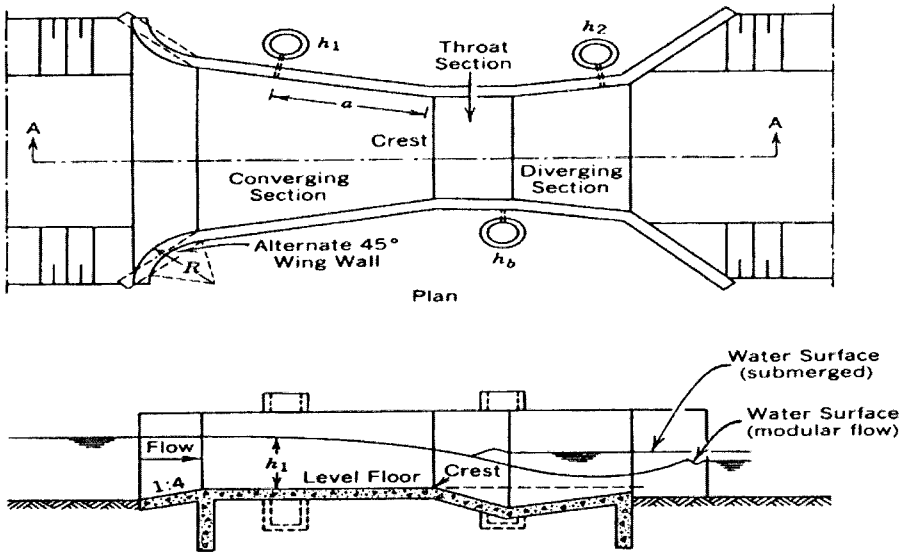
antara tinggi air pada *converging section* dan laju aliran melalui *flume* (tinggi air pada *diverging section* pada *flume* cukup rendah sehingga tidak mempengaruhi tinggi air pada *converging section*).

Ada dua klasifikasi flume, yaitu flume yang pendek dan panjang *throat* nya, tergantung pada panjang relatif bagian *throat* nya terhadap *head* daerah hulu (upstream) (diukur diatas dasar flume), throat nya cukup panjang terutama untuk mendapatkan tekanan hidrostatik pada distribusinya untuk dikembangkan. Sehingga kurva aliran (head-discharge relationship) dapat dianalisis/ diturunkan dan memberikan kebebasan kepada perancang flume untuk membuat berbagai dimensi flume untuk memenuhi kebutuhan spesifik lokasi tertentu.

Yang termasuk kedalam flume yang pendek (short-throated flume) adalah Parshall, cutthroat, WSC dan berbagai flume yang trapezoidal. Semuanya digunakan untuk mengukur aliran pada saluran irigasi terbuka. Long-throat flume dengan *elevated floor sills* dan tanpa lebar kontraksi juga digunakan dalam pengukuran aliran irigasi.

a. *The Parshall Flume*

Parshall flume (Gambar 7.9) digunakan secara ekstensif untuk mengukur aliran irigasi di Amerika.Aliran bervariasi dari 0.3 sampai 85,000 l/dt (4.5 gpm sampai 3000 cfs) dapat diukur secara akurat dengan dibangunnya *Parshall flume* yang ukurannya tepat.



(Sumber: James, 1988)

Gambar 7.9 *Geometri Parshall Flume*

Laju aliran melalui *Parshall flume* mungkin dipengaruhi oleh kedalaman aliran bagian hilir dari *throat*. Kondisi aliran bebas terjadi bila kedalaman ujung aliran (*tailwater*) tidak terlalu tinggi

untuk memengaruhi aliran. Flume tergenang bila kedalaman tailwater cukup mempengaruhi aliran dan rasio genangan (submergence ratio), S, dihitung dengan persamaan 7.9 dan transisi genangan (*transition submergence*, St) disajikan pada Tabel 7.1.

$$S = \frac{h_d}{h_u} \qquad 7.9$$

di mana,

S = rasio genangan (submergence ratio)
h_d = head sebelah hilir throat (m,ft)
h_u = head sebelah hulu throat (m,ft)

Tabel 7.1 *Koefisien dan Eksponen Aliran Bebas dan Tergenang pada Parshall Flume*

...	C_f for Q in		C_s for Q in				
	(l/s)	(cfs)	(l/s)	(cfs)	n_f	n_s	s_t
1 in	9.57	0.338	8.47	0.299	1.55	1.000	0.56
2	19.14	0.676	17.33	0.612	1.55	1.000	0.61
3	28.09	0.992	25.91	0.915	1.55	1.000	0.64
6	58.34	2.06	47.01	1.66	1.58	1.080	0.62
9	86.94	3.07	71.08	2.51	1.53	1.060	0.63
12	113.28	4.00	88.08	3.11	1.52	1.080	0.62
18	169.92	6.00	125.17	4.42	1.54	1.115	0.64
24	226.56	8.00	168.22	5.94	1.55	1.140	0.66
30	283.20	10.00	204.47	7.22	1.555	1.150	0.67
3ft	339.84	12.00	243.55	8.60	1.56	1.160	0.68
4	453.12	16.00	314.35	11.10	1.57	1.185	0.70
5	566.40	20.00	383.74	13.55	1.58	1.205	0.72
6	679.68	24.00	448.87	15.85	1.59	1.230	0.74
7	792.96	28.00	514.01	18.15	1.60	1.250	0.76
8	906.24	32.00	577.73	20.40	1.60	1.260	0.78
10	1136.48	40.13	702.05	24.79	1.59	1.275	0.080
12	1345.20	47.50	830.91	29.34	1.59	1.275	0.80
15	1658.42	58.56	1024.33	36.17	1.59	1.275	0.80
20	2180.64	77.00	1346.90	47.56	1.59	1.275	0.80
25	2702.86	95.44	1669.46	58.95	1.59	1.275	0.80
30	3225.08	113.88	1992.03	70.34	1.59	1.275	0.80
40	4269.24	150.75	2636.88	93.11	1.59	1.275	0.80
50	5313.68	187.63	3282.00	115.89	1.59	1.275	0.80

Persamaan head-discharge (persamaan 7.10) berikut digunakan untuk aliran bebas Parshall flume (James, 1988):

$$\mathbf{Q = C_f(KH)^{nf}} \text{ untuk } S \leq S_t \qquad 7.10.$$

di mana,

Q = debit (l/dt, cfs)
C_f = Koefisien dari Tabel 7.1
H = head (m,ft)
n_f = eksponen aliran
K = Konstanta (K = 3.28 untuk H dalam m. K = 1.00 untuk H dalam ft)
S_t = transisi genangan dari tabel 7.1

Bila flume tergenang ($S > S_t$) digunakan persamaan 7.11 berikut (James, 1988):

$$\mathbf{Q = \frac{C_s(K(h_u - h_d))^{n_f}}{[-(\log S + C)]^{n_s}}} \text{ untuk } S > S_t \qquad 7.11$$

di mana,

Cs = koefisien dari Tabel 7.1
n_s = eksponen dari Tabel 7.1
C = 0.0044 untuk Parshall flume
K = konstanta pada persamaan 7.10

f. *Cutthroat Flume*

Cutthroat flume memiliki *cross section* (penampang melintang) segi empat, dasarnya rata, bagian masukan alirannya seragam dan bagian keluarannya juga seragam. Throat merupakan titik pertemuan antara *inlet* dan *outlet* (Gambar 7.10)

Persamaan 7.10 dan 7.11 dengan perkiraan nilai nf,ns dan St dari Gambar 7.11 dan C=0 digunakan untuk menghubungkan tinggi dan debit pada kondisi aliran yang bebas dan tergenang.

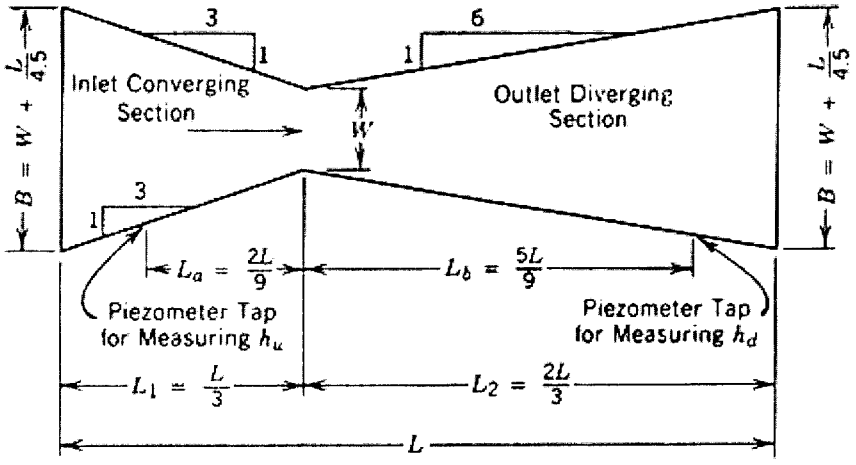
Persamaan berikut digunakan untk menentukan C_f dan C_s (James, 1988):

$$\mathbf{C_f = KK_fW^{1.025}} \qquad 7.12$$

$$\mathbf{C_s = KK_sW^{1.025}} \qquad 7.13$$

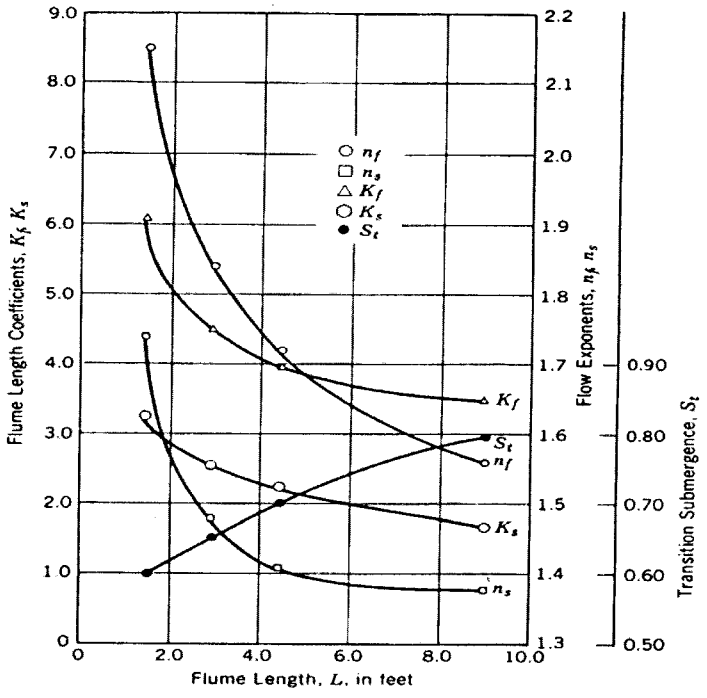
di mana,

W = lebar *throat* (ft)
K_f = koefisien dari Gambar 7.9
K_s = koefisien dari Gambar 7.9
K = konstanta (K=2831 untuk Q dan H pada persamaan 7.10 dan 7.11 dalam l/s. K= 1.00 untuk Q dan H dalam persamaan 7.10 dan 7.11 dalam cfs dab ft)



(Skogerboe *et. al.*. 1972 dalam James, 1988)

Gambar 7.10 *Sketsa Cutthroat Flume*

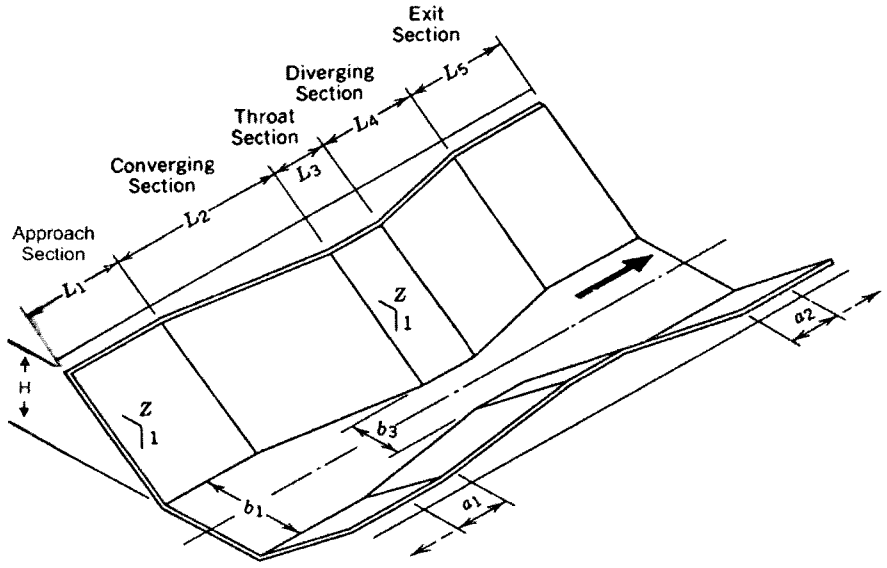


(Skogerboe *et.al.*, 1972 dalam James, 1988)

Gambar 7.11 *Generalisasi Koefisien Aliran Bebas dan Tergenang (K_f dan K_s), dan Transisi Genangan (S_t) pada Cutthroat Flume. Data ini Menggunakan Persamaan 7.10, 7.11, 7.12 dan 7.13.*

b. *Trapezoidal Flume*

Tipe trapezoidal flume, converging, throat, diverging dan bagian keluar disajikan pada Gambar 7.12.



(ASAE,1982 dalam James (1988)

Gambar 7.12 *Standard Kalibrasi Trapezoidal Flume*

Pedoman dimensi pada Gambar 7.12 dan persamaan debit yang mengalir bebas untuk empat flume disajikan pada Tabel 7.2 dan 7.3. Flume 1 dan 2 didesain untuk bagian saluran yang di *lining*. Flume 3 dan 4 direkomendasikan terutama untuk saluran yang tidak di lining (ASAE Standard S359.1, 1982). Tabel 7.4 merupakan daftar koreksi debit untuk aliran tergenang pada flume 1,2 dan 3. Prosedur koreksinya meliputi pengukuran h dan menggunakannyan untuk menghitung debit aliran bebas, Q (persamaan diperkirakan dari Tabel 7.4) dan nilai S dihitung dengan persamaan 7.9.

Tabel 7.2 *Dimensi Standard Terkalibrasi Trapezoidal Measuring Flume, ft*

No	b_1	b_3	Z	H	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	a_1[b]
1	1.00	0.40	1.00	1.333	1.25	1.422	1.00	1.422	0.50	0.146
2	2.00	1.00	1.25	3.00	2.00	3.00	2.50	2.00	1.00	0.50
3	1.33	0.67	0.58	2.312	1.50	1.326	1.667	1.326	0.50	0.25
4	0.167	-	0.58	0.562	0.583	0.578	0.583	0.058	0.25	0.125

Sumber: ASAE, 1982 dalam James, 1988)

Tabel 7.3 *Standard Persamaan Debit Terkalibrasi Trapezoidal Measuring Flume*

Flume No.	Equation	Hu Range (ft)	Q Range (cfs)
1	$Q = 3.23h_u^{2.5} + 0.63h_u^{1.5} + 0.05$	0.20-1.20	0.05-5.96
2	$Q = 4.27h_u^{2.5} + 1.67h_u^{1.5} + 0.19$	0.30-2.70	0.54-58.8
3	$Q = 1.46h_u^{2.5} + 2.22h_u^{1.5}$	0.20-2.20	0.24-17.4
4	$Q = 1.55h_u^{2.58}$	0.15-0.50	0.012-0.26

Sumber: ASAE (1982) dalam James (1988)

Faktor koreksi genangan ditentukan dengan menggunakan Tabel 7.4. Debit aliran tergenang dihitung dengan persamaan:

$$Q_s = K_{sf} Q \qquad 7.14$$

di mana,

Q_s = debit genangan
K_{sf} = Faktor koreksi genangan dari Tabel 7.4
Q = debit aliran bebas

Tabel 7.4 *Faktor Koreksi Genangan untuk Standard Terkalibrasi Padan Trapezoidal flume 1, 2 dan 3 dalam tabel 7.2 dan 7.3*

Submergence Ratio, S	Submergence Correction Factor, K_{sf}	
	Flume 1 and 2	Flume 3
0.70	0.993	1.000
0.75	0.984	1.000
0.80	0.970	0.996
0.85	0.945	0.998
0.90	0.902	0.972
0.92	0.875	0.964
0.94	0.838	0.953
0.95	0.815	0.946

c. *WSC Flume*

WSC flume dikembangkan oleh Washingtn State College (sekarang Washington State University), adalah flume trapesium dengan *V-notch throat* nya 60^0.

Layout serta dimensi flume ini disajikan pada Gambar 7.13. Flume ini dirancang untuk mengukur aliran pada kisaran 4 sampai 100 l/menit (1 sampai 26 gpm). Trout (1986, dalam James, 1988) mengembangkan hubungan antara tinggi dan debit WSC flume yang berbahan fiberglass buatan Powlus Company sebagai berikut:

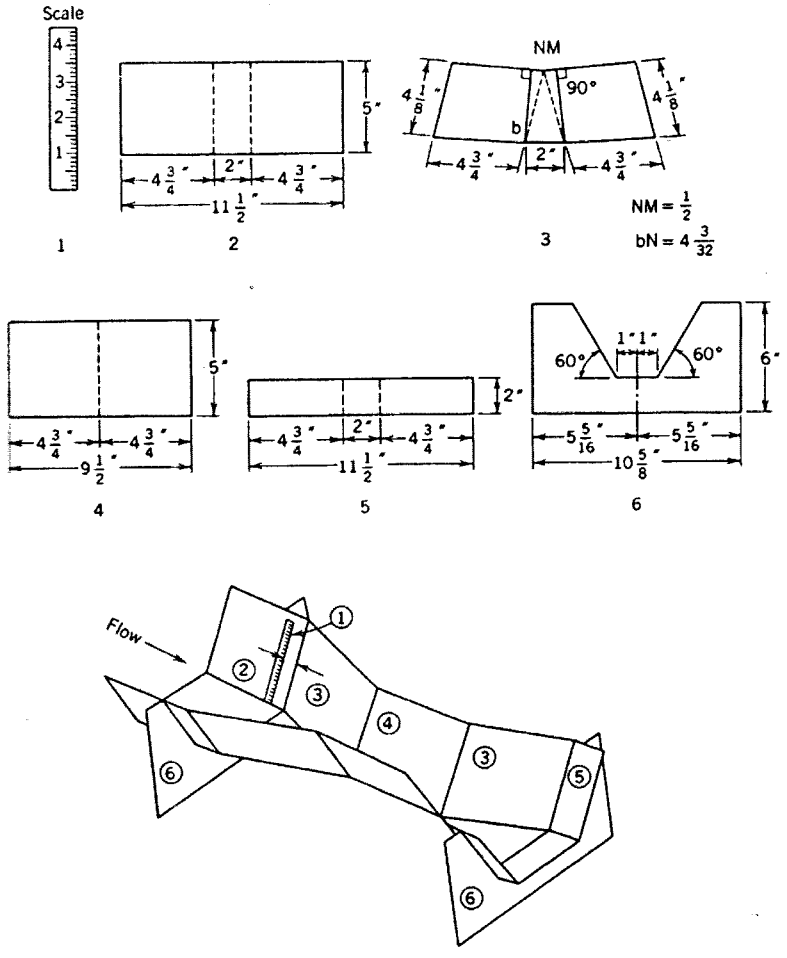
$$Q = K(h_u - o.15)^{2.63} \qquad 7.15$$

di mana,

Q = debit (l/min, gpm)

h_u = tinggi bagian hulu (upstream head), diukur pada bagian inlet yang miring

K = konstanta ($K = 5.43(10)^{-4}$ untuk Q dalam l/menit. $K = 1.43\ (10)_{-4}$ untuk Q dalam gpm. h_u dalam mm untuk keduanya.



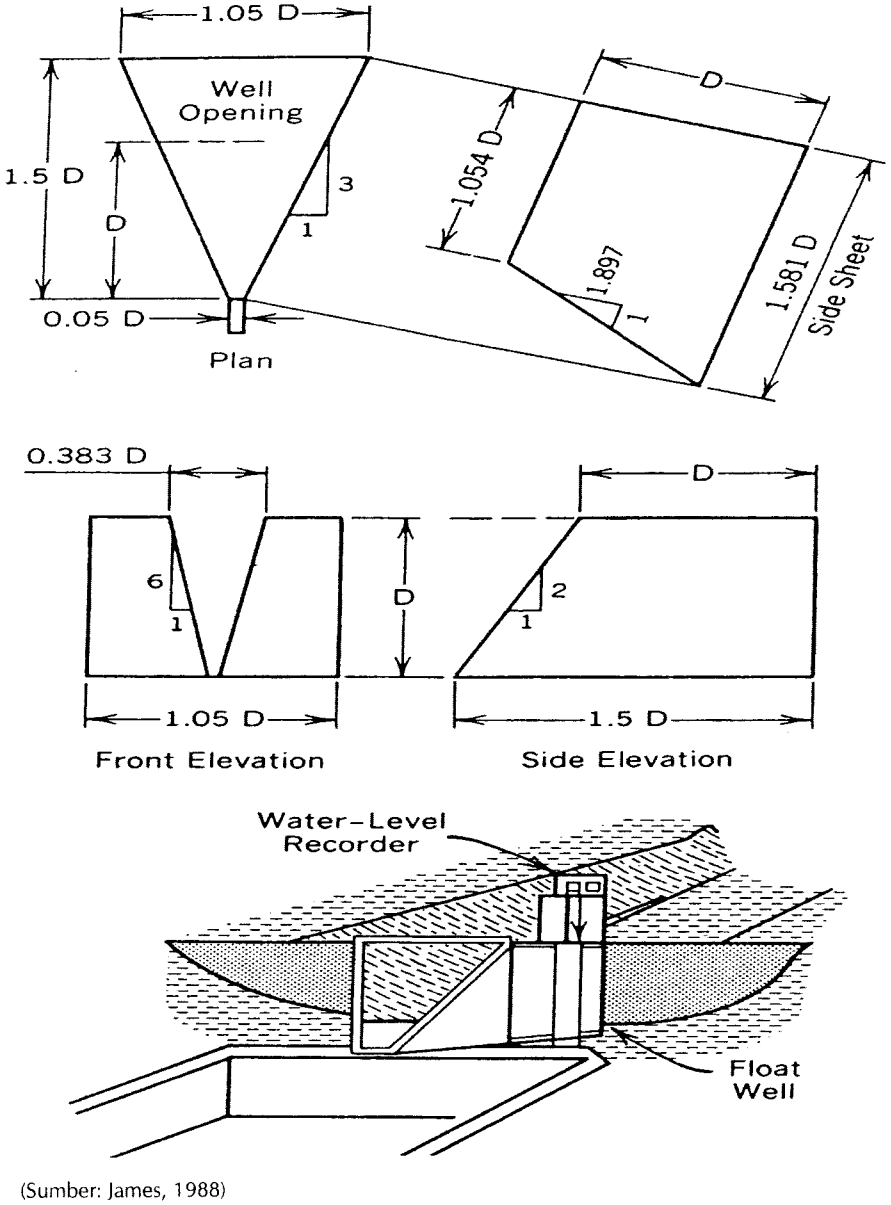
(SCS Natonal Engg, Handbook, 1962 dalam James, 1988)

Gambar 7.13 *Layout dan Dimensi (in) WSC V-Notch Flume*

d. (HS) *H Flume*

Flume ini relatif tidak mahal dan membuatnya mudah dan berguna untuk mengukur aliran sampai 23 l/dt (365 gpm) (Whithers dan Vipond, 1980 dalam James, 1988).

Informasi Layout HS flume disajikan pada Gambar 7.14

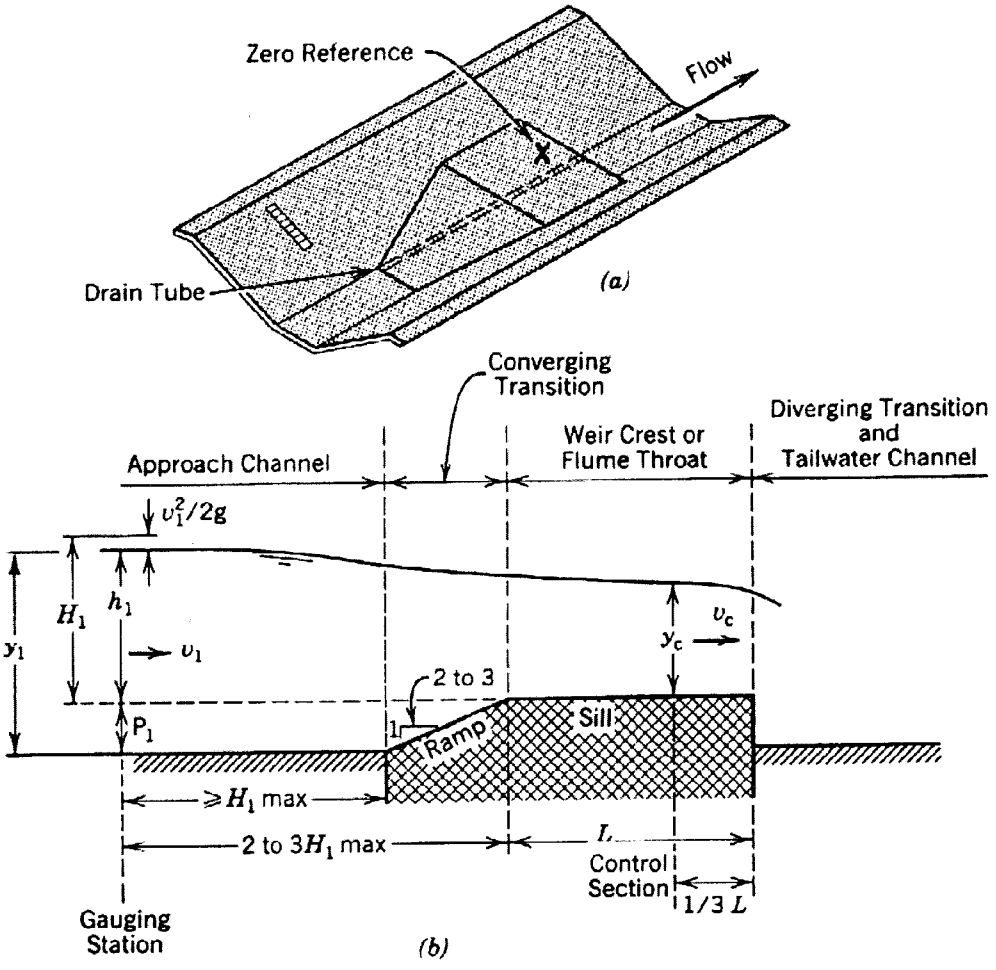


(Sumber: James, 1988)

Gambar 7.14 *Layout HS Flume*

e. *Long-throat Flume*

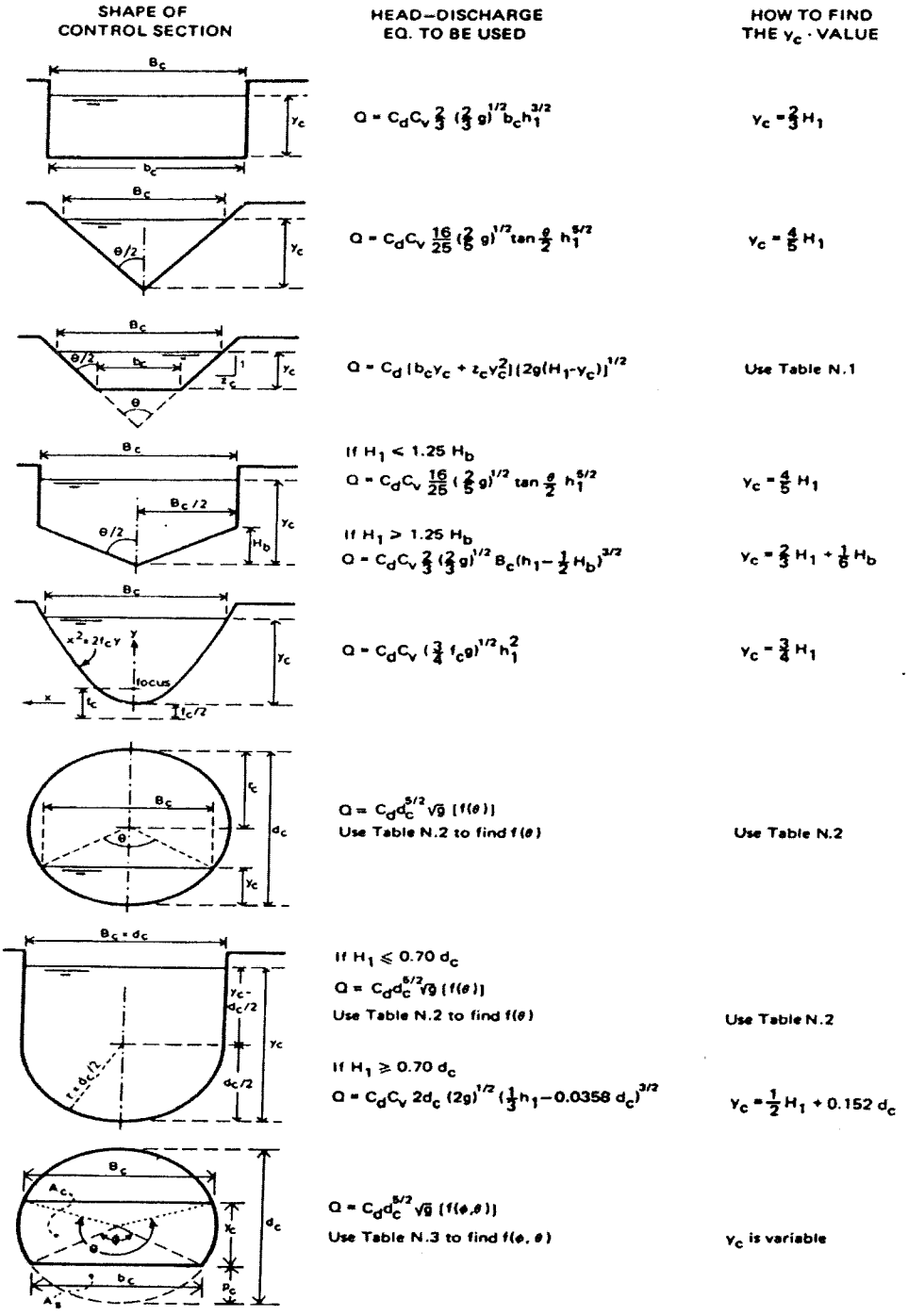
Pada *Long-throat flume* bagian kontrol dibentuk oleh *upward-sloping ram* (pada arah aliran) dan tinggi sill. Long-throat flume dibentuk dengan pemasangan ramp dan sill pada saluran trapezoidal seperti terlihat pada Gambar 7.15a. Macam-macam ambang ukur tersebut di antaranya:



(Bos *et.al.*, 1984 dalam James 1988)

Gambar 7.15 *Long-Throat Flume pada Saluran Trapesium (a) dan Sketsa Long-Throat Flume*

Bos *et.al.*, 1984 dalam James, 1988) menyajikan persamaan tinggi dan debit yang merupakan derivasi dari long-throated flumes dengan ramp dan sill pada penampang melintang segi empat, segitiga, trapesium, parabola, lingkaran dan *tuncated V*. Persamaan-persamaan tersebut disajikan pada Gambar 7.16. berikut:



(Sumber: Bos et.al. 1984 dalam James, 1988)

Gambar 7.16 *Persamaan Hubungan Tinggi dan Debit pada Long-Throat Flumes*

7.1.3.4 Lubang

Pengukuran air irigasi biasanya mengunakan lubang (Orifices) berbentuk lingkaran atau segi empat dan ditempatkan secara vertikal di permukaan tegak lurus aliran. Orifices biasanya ditempatkan dekat dasar saluran sehingga tergenang sepenuhnya. Persamaan hubungan tinggi dan debit pada orifices tergenang menurut James (1988) adalah:

$$Q = 0.61KAH^{1/2} \qquad 7.16$$

di mana,

Q = debit orifice (l/dt,gpm)
A = luas orifice (cm^2, in^2)
H = tinggi (head) (n, ft)
K = konstanta (K= o.443 untuk q dalam l/dt, A dalam cm^2, dan H dalam m. K=25.0 untuk Q dalam gpm, A dalam in^2, dan H dalam ft.)

Apabila kecepatan cukup besar persamaan berikut digunakan untuk menghitung debit dari orifice:

$$\mathbf{Q = 0.61KA(H + h_a)^{1/2}} \qquad 7.17$$

di mana,

h_a = *velocity head* pada saluran dalam m atau ft.

Untuk orifice tergenang, persamaan berikut digunakan untuk menghitung debit dari orifice tersebut:

$$\mathbf{Q = 0.61K(1 + 0.15r)A(H + ha)^{1/2}} \qquad 7.18$$

di mana,

r = rasio antara bagian perimeter tertekan dengan total perimeter pada orifice. Bila ha=0

7.1.4 *Dilution Methods*

Metode ini dilakukan dengan menginjeksi sejumlah bahan kimia, fluorescent atau radioaktif yang diketahui pada aliran, kemudian mengukur kembali konsentrasi bahan kimia tersebut pada titik tertentu di hilir.

Debit dihitung dengan mengunakan persamaan:

$$\mathbf{Q = q\left(\frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}\right)} \qquad 7.19$$

di mana:

Q = Debit (volume/ waktu)
q = Laju injeksi bahan kimia pada aliran (volume/ waktu)
C_1 = Konsentrasi bahan kimia yang dinjeksikan ke dalam aliran (mass/volume)

C_2 = Konsentrasi bahan kimia yang terlarut pada aliran pada titik pengukuran tertentu (mass/volume)
C_0 = Konsentrasi aliran dibagian hulu sebelum aliran diinjeksi bahan kimia (mass/volume)

7.2 PENGUKURAN ALIRAN PADA PIPA

Beberapa tipe alat dapat digunakan untuk mengukur volume aliran dan atau laju aliran pada pipa. Peralatan ini diklasifikasikan kedalam *differensial pressure, rotating mechanical, bypass, ultrasonic, atau insertion meters.*

7.2.1 *Differential Pressure Flowmeters*

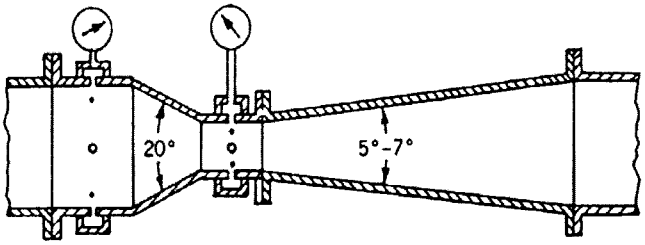
Venturi tubes, orifice plates, dan elbow meters merupakan tipe utama dari *Differential Pressure Flowmeters* yang digunakan pada irigasi pipa. *Differential Pressure Flowmeters* menghasilkan perbedaan tekanan yang proporsional sesuai luasan laju aliran volumetrik.

7.2.1.1 *Venturi Tube*

Diagram Venturi tube disajikan pada Gambar 7.17. Tekanan turun antara inlet dan throat menyebabkan air melalui throat dan berhubungan dengan laju aliran volumetrik. Hubungan tersebut adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{Cd^2K(P_1 - P_2)^{1/2}}{[1-(d/D)^2]^{1/2}} \qquad 7.18$$

di mana,
Q = debit (l/dt,gpm);
C = koefisien aliran;
D = diameter bagian hulu (cm, in);
d = diameter kontraksi (cm, in);
P_1 = tekanan bagian hulu (kPa, psi);
P_2 = tekanan pada kontraksi (kPa, psi)
K = konstanta (K= 6.66 untuk Q dalam l/menit, d dan D dalam cm, dan P_1 dan P_2 dalam kPa. K=29.86 untuk Q dalam gpm, d dan D dalam in, dan P_1 dan P_2 dalam psi..)

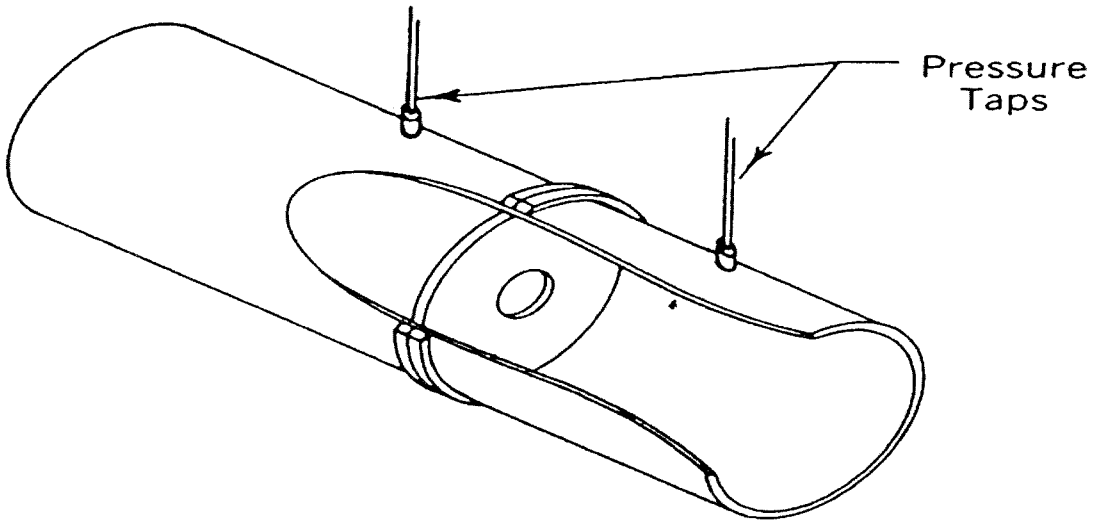


(Sumber: James, 1988)

Gambar 7.17 *Alat Ukur Aliran Venturi*

7.2.1.2 *Orifice Plates*

Orifice terdiri dari plat yang tipis yang dijepit diantara pinggiran pipa. Umumnya orifice plate memiliki lubang berupa lingkaran konsentris dengan pipa seperti pada Gambar 7.18.



(James dan Shannon, dalam Nakayama dan Bucks, 1986 dalam James, 1988)

Gambar 7.18 *Orifice Flowmeter*

Persamaan 7.18 dapat digunakan untuk menghitung laju aliran melalui orifice plate pada berbagai tekanan.

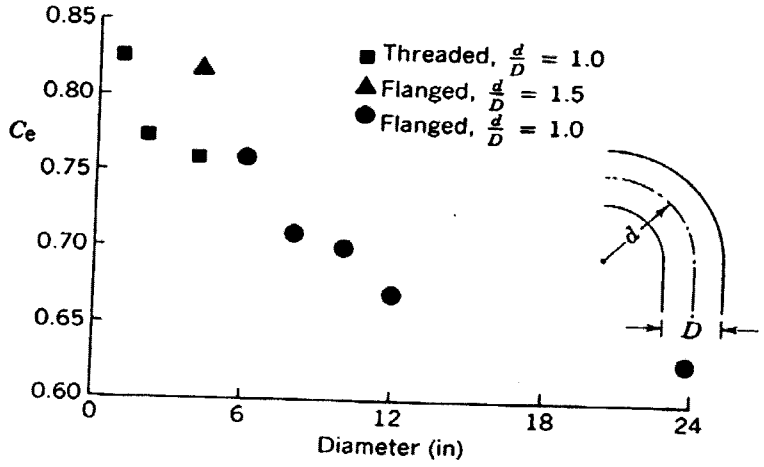
7.2.1.3 *Elbow Meter*

Perbedaan tekanan antara di luar dan di dalam dinding elbow berhubungan dengan laju aliran volumetrik. Persamaan 7.19 digunakan untuk menghitung laju aliran bila perbedaan tekanan dan penampang melintang elbow diketahui.

$$Q = C_e K A (P_0 - P_1)^{1/2} \qquad 7.19$$

di mana,

Q = debit (l/dt,gpm);
C_e = koefisien aliran elbow meter dari Gambar 7.19;
A = penampang melintang elbow (cm^2, in^2)
P_0 = tekanan diluar elbow (kPa, psi);
P_1 = tekanan didalam elbow (kPa, psi)
K = konstanta (K= 8.49 untuk Q dalam l/menit, A dalam cm^2, dan P_0 dan P_1 dalam kPa. K= 38.02 untuk Q dalam gpm, A dalam in^2, dan P_0 dan P_1 dalam psi..)

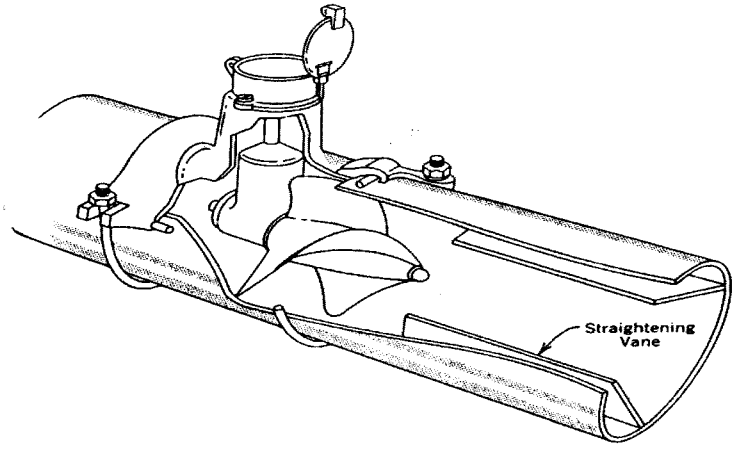


(James dan Shannon, dalam Nakayama dan Bucks, 1986 dalam James, 1988)

Gambar 7.19 *Koefisien Aliran (Ce pada Persamaan 7.19) untuk Diameter Elbow Meter yang Berbeda pada Bilangan Reynold > 100,000*

7.2.2 *Rotating Mechanical Flowmeters*

Terdapat beberapa tipe *rotating mechanical flowmeters* yang digunakan pada pipa. Pengukur aliran ini umumnya memiliki rotor yang digerakkan dengan kecepatan yang proporsional dengan laju aliran dan alat pencatat dan menunjukkan volume total dan atau laju aliran. Rotornya mungkin berupa *propeller* (Gambar 7.20) atau *axial-flow turbine,* atau *vane-wheel* dengan aliran yang mengenainya bersifat tangential pada satu atau beberapa titik.

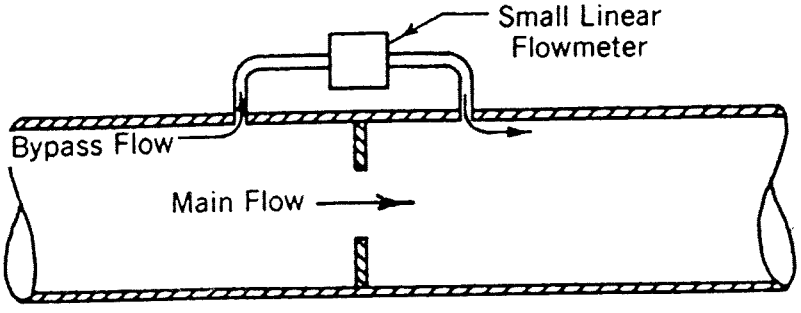


(SCS, 1962 dalam James, 1988)

Gambar 7.20 *Propeller Meter Dipasang pada Bagian Pipa*

7.2.3 *Bypass Flowmeter*

Seperti terlihat pada Gambar 7.21 *bypass meter* adalah *orifice* atau alat lainnya dengan perbedaan tekanan (*differential pressure*) dengan alat ukur aliran mekanik yang kecil (*small mechanical flowmeter*) melewati perbedaan tekanan. Hubungan antara volume laju aliran pada pipa utama dan aliran pada *bypass line* bersifat linier untuk *bypass flowmeter* yang didesain tepat. Baik volume maupun laju aliran keduanya biasanya diperoleh.



(James dan Shannon, dalam Nakayama dan Bucks, 1986 dalam James, 1988)

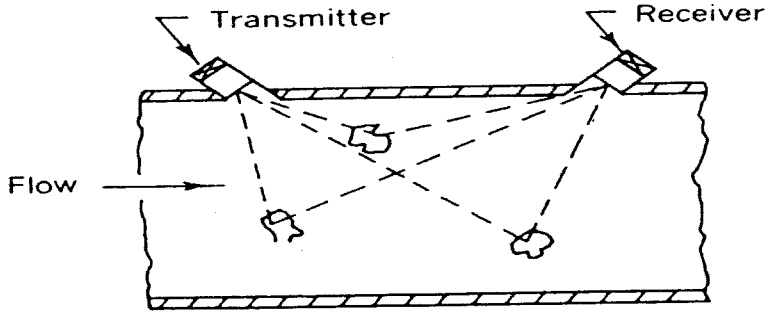
Gambar 7.21 *Skematik By Pass Meter*

7.2.4 *Ultrasonic Flowmeters*

Beberapa tipe alat yang menggunakan *beam* (sinar) atau *ultrassound* untuk mengukur kecepatan dan volume laju aliran disebut *ultrasonic flowmeters*.

7.2.4.1 *Single-Path Diagonal-beam Ultrasonic Flowmeters*

Peralatan ini mengirimkan dua signal *ultrasonic* secara diagonal melalui pipa, seperti pada Gambar 7.22. satu signal bergerak diatas dan lainnya dibawah aliran.Perbedaan jarak tempuh dari dua *beams* dihubungkan dengan kecepatan aliran pada pipa.

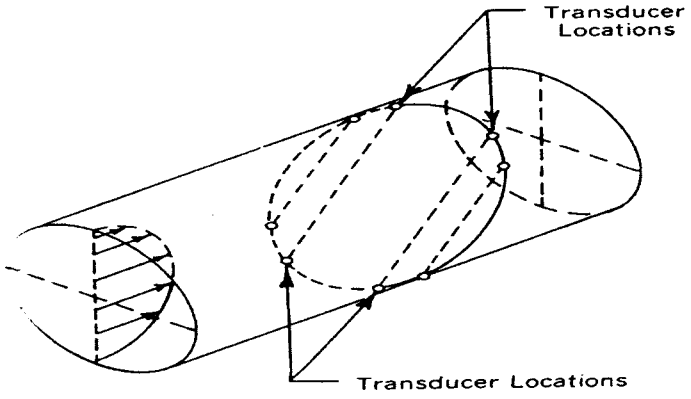


(Sumber: James dan Shannon, dalam Nakayama dan Bucks, 1986 dalam James, 1988)

Gambar 7.22 *Prinsip Single-Path, Diagonal-Beam, Ultrasonic Flowmeter*

7.2.4.2 *Multichordal Diagonal Ultrasonic Flowmeters*

Ketepatan *Single-path Diagonal-beam Ultrasonic Flowmeters* dapat ditingkatkan dengan menggunakan *multichordal diagonal-beam* yang pengaturannya sama dapat dilihat pada Gambar 7.23. Ketepatan pengukuran aliran kurang sensitif terhadap profil kecepatan dalam pipa karena beberapa beam ultrasound bergerak diagonal melalui pipa.

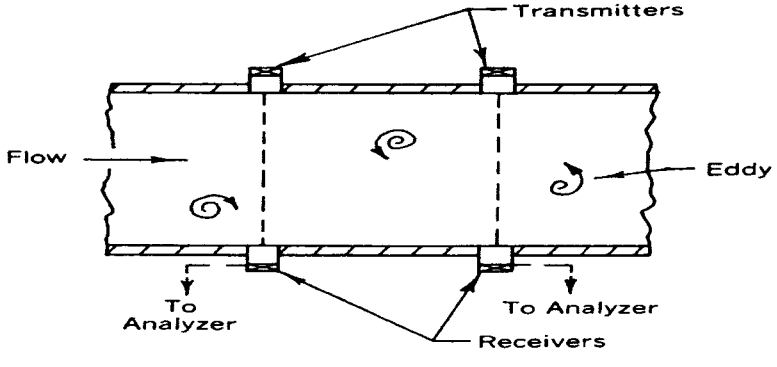


(Sumber: James dan Shannon, dalam Nakayama dan Bucks, 1986 dalam James, 1988)

Gambar 7.23 *A four-chordal diagonal-beam ultrasonic flowmeter*

7.2.4.3 *Cross-correlation Ultrasonic Flowmeters*

Cross-correlation ultrasonic flowmeters menggunakan dua beam ultrasound yang melintang, satu ditempatkan pada jarak yang pendek sebelah hulu dari yang lainnya, seperti terlihat pada Gambar 7.24, untuk mengukur kecepatan aliran dalam pipa. Laju aliran volumetrik dihitung dari wkatu yang dibutuhkan aliran yang tidak kontinyu spt adanya agregat pertikel terlarut, gelembung udara atau aliran turbulen (*eddies*) yang lewat dari atas ke bawah aliran.

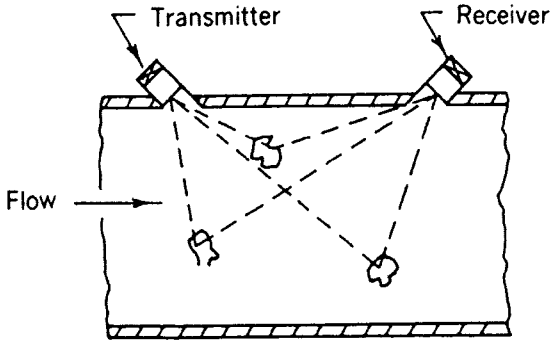


(Sumber: James dan Shannon, dalam Nakayama dan Bucks, 1986 dalam James, 1988)

Gambar 7.24 *Prinsip Cross-Correction Ultrasonic Flowmeter*

7.2.4.4 *Doppler-effect Ultrasonic Flowmeters*

Doppler-effect ultrasonic meter (lihat Gambar 7.25) mengukur kecepatan partikel terlarut atau gelembung udara yang kecil yang terbawa oleh aliran. Partikel terlarut dan gelembung udara memantulkan beberapa signal ultrasonic yang dipancarkan didalam aliran ke penerima. Pancaran dan pantulan signal dibandingkan dan laju aliran volumetrik dapat ditentukan.



(Sumber: James dan Shannon, dalam Nakayama dan Bucks, 986 dalam James, 1988)

Gambar 7.25 *Prinsip Doppler-Effect Ultrasonic Flowmeters*

7.2.5 *Insertion Flowmeters*

Insertion meter yang utama adalah Pitot tube dan integrating-type Pitot tubes.

7.2.5.1 *Pitot Tunes*

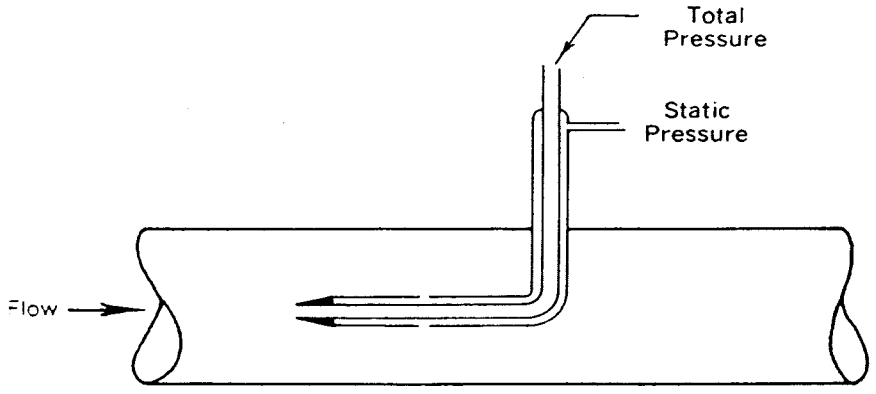
Pitot tube (Gambar 7.26) terdiri dari dua tube berdiameter kecil yang konsentrik diarahkan ke hulu. Tube bagian dalam mengukur aliran energi total (kinetik ditambah potensial energi), sedangkan tube luar hanya potensial energi. Karena air pada mulut tube bagian dalam dibawa dan energi kinetik nya dikonversi ke energi potensial, perbedaan tekanan antara bagian dalam dan luar tube sama dengan energi kinetik aliran. Kecepatan aliran dapat dihitung dari perbedaan temperatur tersebut dengan menggunakan persamaan 7.20.

$$V = CKh^{1/2} \qquad 7.20$$

di mana,

V = kecepatan aliran (m/dt, ft/s)
C = koefisien aliran (C untuk Pitot tube yang desainnya baik diperkirakan 1.00)
h = perbedaan tinggi (cm,in)
K = konstanta (K = 0.443 untuk V dalam m/dt, dan h dalam cm. K = 2.315 untuk V dalam ft/s, dan h dalam in).

Bila kecepatan diketahui, persamaan 7.2 digunakan untuk menghitung volume laju aliran.

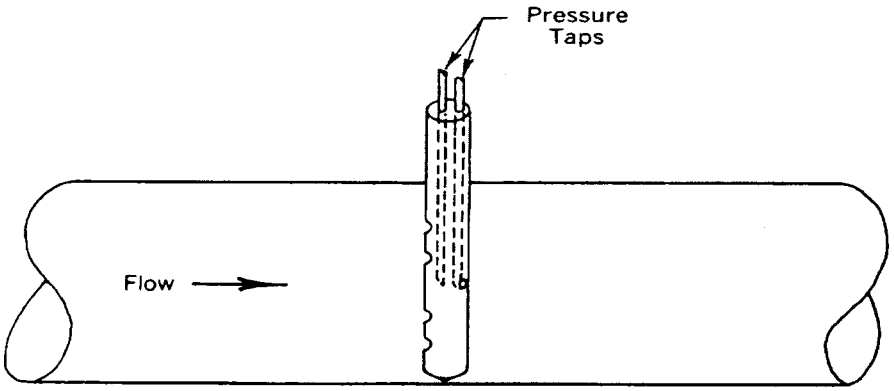


(Sumber: James dan Shannon, dalam Nakayama dan Bucks, 1986 dalam James, 1988)

Gambar 7.26 *Skema Pitot Tube*

7.2.5.2 *Integrating Pitot Tube*

Beberapa *insertion-type flowmeters* seperti pada Gambar 7.27 tersedia secara komersial. Alat ukur ini cirinya memiliki tube dengan beberapa tempat yang strategis, lubang menghadap hulu untuk meratakan energi total (energi kinetik dan potensial) melalui pipa. Alat ukur tersebut mempunyai tube lainnya untuk memantau energi potensial. Perbedaan tekanan (tekanan total dan statik) dapat digunakan persamaan 7.2 dan 7.20 untuk menentukan volume laju aliran.



(Sumber: James dan Shannon, dalam Nakayama dan Bucks, 1986 dalam James, 1988)

Gambar 7.27 *Insertion-Type Flowmeter yang Tersedia Secara Komersial*

-oo0oo-

DAFTAR PUSTAKA

Ali, M.H. 2010. *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management*. Springer. New York.

Allen, R.G.., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration*. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO. *Irrigation and Drainage paper 56*. FAO, Rome, Italy, pp. 159-181.

Doorenbos, J. & Kassam, A. H. 1979. *Yield Response to Water-Part A of Irrigation and Drainage Paper No. 33-*. FAO, Roma, pp. 1-57.

Doorenbos, J., and W.O. Pruitt (1977). *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements*. Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, United Nations, 144 pp.

Islami, T. dan W.H. Utomo. 1995. *Hubungan Tanah, Air dan Tanaman*. IKIP Semarang Press.

James, L.G.. 1988. *Principle of Farm Irrigation System Design*. John Wiley & Sons. New York, pp. 1- 40.

Kalsim, D.K. 1985. *Bahan Kuliah Teknik Irigasi dan Drainase pada Program Detasering Dosen IPB ke Unila*. Dalam rangka kerjasama Universitas Lampung dengan Institut Pertanian Bogor.

Woodka, C. 2011. *Arkansas Valley Lysimeter Installation Data May Have an Effect on Consumptive Use Calculation in Change Cases*. https://coyotegulch.com/2011/04/24/.

-oo0oo-

MILIK
Badan Perpustakaan & Kearsipan
Propinsi Jawa Timur