

Topik 2. Kebutuhan Air Irigasi Untuk Tanaman Non-Padi dan Padi



Pendahuluan

Tujuan Instruksional Khusus: Mahasiswa mampu: (a) memilih metoda untuk menghitung kebutuhan air irigasi untuk berbagai jenis tanaman pada suatu kondisi iklim tertentu di suatu daerah; (b) membedakan kebutuhan air untuk tanaman padi dan non-padi.

Pokok bahasan:

- (a) Berbagai metoda Perhitungan Evapotranspirasi tanaman Acuan (ET_o)
- (b) Penentuan koefisien tanaman
- (c) Pendugaan hujan efektif
- (d) Pendugaan kebutuhan air tanaman (ET_c) dan keperluan air irigasi
- (e) Khusus perhitungan kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi

Bahan Ajar

Bahan Ajar terdiri dari: (1) Air yang diperlukan tanaman dan pemakaian air, (2) Irigasi padi sawah, (3) Penelitian SRI (System of Rice Intensification). Pada File Tambahan

Kuliah Topik 2, tercantum: (a) Software dan manual program CROPWAT-win, (b) D.K. Kalsim, 2007. Rancangan Operasional Sistem Irigasi untuk Pengembangan SRI. Seminar KNI-ICID 24 November 2007, Bandung, (c) Deficit Irrigation, paper FAO, 2003, dalam bentuk pdf.

1. Air yang Diperlukan Tanaman dan Pemakaian Air

Penggunaan konsumtif adalah jumlah total air yang dikonsumsi tanaman untuk penguapan (evaporasi), transpirasi dan aktivitas metabolisme tanaman. Kadang-kadang istilah itu disebut juga sebagai evapotranspirasi tanaman. Jumlah evapotranspirasi kumulatif selama pertumbuhan tanaman yang harus dipenuhi oleh air irigasi, dipengaruhi oleh jenis tanaman, radiasi surya, sistem irigasi, lamanya pertumbuhan, hujan dan faktor lainnya. Jumlah air yang ditranspirasikan tanaman tergantung pada jumlah lengas yang tersedia di daerah perakaran, suhu dan kelembaban udara, kecepatan angin, intensitas dan lama penyinaran, tahapan pertumbuhan, tipe dedaunan.

Terdapat dua metoda untuk mendapatkan angka penggunaan konsumtif tanaman, yakni (a) pengukuran langsung dengan lysimeter bertimbangan (*weighing lysimeter*) atau tidak bertimbangan (Gambar 1a dan 1b), dan (b) secara tidak langsung dengan menggunakan rumus empirik berdasarkan data unsur cuaca.

Secara tidak langsung dengan menggunakan rumus empirik berdasarkan data unsur cuaca, pertama menduga nilai evapotranspirasi tanaman acuan¹ (ET_o). ET_o adalah jumlah air yang dievapotranspirasikan oleh tanaman rumputan dengan tinggi 15~20 cm, tumbuh sehat, menutup tanah dengan sempurna, pada kondisi cukup air. Ada berbagai rumus empirik untuk pendugaan evapotranspirasi tanaman acuan (ET_o) tergantung pada ketersediaan data unsur cuaca, antara lain: metoda Blaney-Criddle, Penman, Radiasi, Panci evaporasi (FAO, 1987). Akhir-akhir ini (1999) FAO merekomendasikan metoda Penman-Monteith untuk digunakan jika data iklim tersedia (suhu rerata udara harian, jam penyinaran rerata harian, kelembaban relatif rerata harian, dan kecepatan angin rerata harian. Selain itu diperlukan juga data letak geografi dan elevasi lahan di atas permukaan laut.

Selanjutnya untuk mengetahui nilai ET tanaman tertentu maka ET_o dikalikan dengan nilai K_c yakni koefisien tanaman yang tergantung pada jenis tanaman dan tahap pertumbuhan. Nilai K_c tersedia untuk setiap jenis tanaman.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad \dots/1/$$

Keperluan air untuk ET_c ini dipenuhi oleh air hujan (efektif) dan kalau tidak cukup oleh air irigasi. Keperluan air irigasi atau KAI dinyatakan dengan persamaan:

$$KAI = ET_c - H_e \quad \dots/2/$$

Hujan efektif (H_e) adalah bagian dari total hujan yang digunakan untuk keperluan tanaman. Perhitungan ET_o dan daftar nilai K_c ada dalam program CROPWAT.

Hujan Efektif

¹ Evapotranspirasi tanaman acuan (Reference crop evapotranspiration)

FAO mengumpulkan beberapa metoda metoda empirik untuk menghitung hujan efektif untuk non-padi antara lain²:

- a. Nilai persentase tertentu dari hujan bulanan (*fixed percentage*): $P_{\text{eff}} = a \times P_{\text{tot}}$, biasanya nilai $a = 0,7 - 0,9$
- b. Hujan andalan (*dependable rain*) didefinisikan sebagai hujan dengan peluang terlewati tertentu: peluang terlewati 80% menggambarkan kondisi tahun kering, 50% kondisi tahun normal dan 20% kondisi tahun basah. Secara empirik menurut AGLW/FAO:

- $P_{\text{ef}} = 0.6 * P_{\text{mean}} - 10$; untuk $P_{\text{mean}} < 60$ mm/bulan
- $P_{\text{ef}} = 0.8 * P_{\text{mean}} - 25$; untuk $P_{\text{mean}} > 60$ mm/bulan

- c. Rumus empirik yang dikembangkan secara lokal, biasanya dikembangkan dengan rumus umum sebagai berikut:

$$P_{\text{eff}} = a P_{\text{mean}} + b \text{ untuk } P_{\text{mean}} < Z \text{ mm}$$

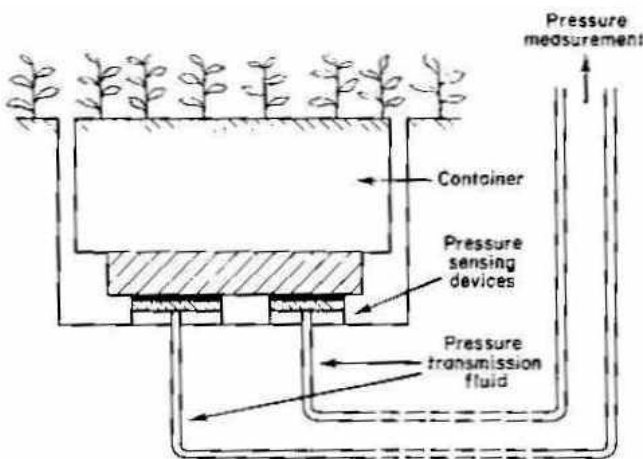
$$P_{\text{eff}} = c P_{\text{mean}} + d \text{ untuk } P_{\text{mean}} > Z \text{ mm}$$

Konstanta a, b, c dan d dikembangkan berdasarkan penelitian secara lokal.

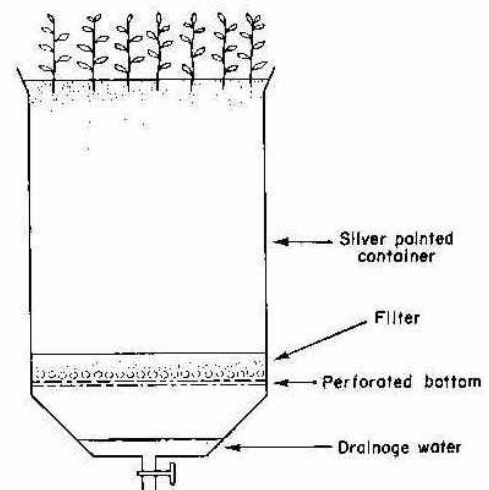
Hujan bulanan dengan peluang terlewati tertentu (misalnya 75%), untuk beberapa daerah sudah mempunyai persamaan linier antara hujan bulanan rata-rata dengan hujan bulanan dengan peluang terlewati tertentu. Untuk Indonesia, Oldeman, L.R. (1980) menyatakan bahwa hujan peluang terlewati 75% (Y) dapat dinyatakan dengan persamaan: $Y = 0,82 X - 30$, dimana X = rata-rata hujan bulanan. Hujan efektif untuk tanaman padi adalah 100% dari Y, sedangkan untuk palawija 75% dari Y.

- d. USBR (*United State Bureau of Reclamation*) :

- $P_{\text{ef}} = P_{\text{mean}} \times (125 - 0.2 P_{\text{mean}}) / 125$; untuk $P_{\text{mean}} < 250$ mm
- $P_{\text{ef}} = 125 + 0.1 \times P_{\text{mean}}$; untuk $P_{\text{mean}} > 250$ mm



Gambar 1a. Lisimeter bertimbangan



Gambar 1b. Lisimeter tak-bertimbangan

2. Irigasi Padi Sawah

Pengelolaan air irigasi padi sawah sangat penting untuk memaksimalkan pemanfaatan pengembangan teknologi budidaya padi. Dasar utama dalam pengelolaan air tersebut

² Martin Smith, 1991. CROPWAT (ver.5.7): Manual and Guidelines. FAO

adalah pengetahuan tentang kondisi air yang optimum dalam kaitannya dengan tahap pertumbuhan padi dan beberapa metoda untuk mendapatkan kondisi optimum tersebut.

Keperluan air irigasi untuk tanaman padi

Seringkali dikatakan bahwa irigasi tanaman padi di sawah adalah merupakan suatu proses penambahan air hujan untuk memenuhi keperluan air tanaman. Tanaman padi sawah memerlukan air cukup banyak dan menginginkan genangan air untuk menekan pertumbuhan gulma dan sebagai usaha pengamanan apabila terjadi kekurangan air. Di daerah tropik walaupun pada musim hujan, sering terjadi suatu perioda kering sampai 3 minggu tidak turun hujan. Pada situasi tersebut diperlukan air irigasi untuk menjamin pertumbuhan tanaman padi yang baik. Pada umumnya tinggi genangan air adalah sekitar 50 - 75 mm untuk padi varietas unggul (HYV)³, sedangkan untuk varietas lokal antara 100 - 120 mm. Maksimum genangan air pada HYV adalah sekitar 15 cm.⁴

Apabila laju evaporasi sekitar 2 - 6 mm/hari dan perkolasi atau rembesan sekitar 6 mm/hari, maka lapisan genangan air tersebut akan mencapai nol pada selang waktu 4 sampai 15 hari, apabila tidak ada hujan dan air irigasi. Apabila situasi tersebut berlanjut sampai beberapa minggu terutama pada masa pertumbuhan tanaman yang peka terhadap kekeringan maka akan terjadi pengurangan produksi.

Suatu tetapan konversi keperluan air biasanya dinyatakan dengan mm/hari yang dapat dikonversi ke suatu debit kontinyu pada suatu areal yakni $1 \text{ l/det/ha} = 8,64 \text{ mm/hari}$ atau $1 \text{ mm/hari} = 0,116 \text{ l/det/ha}$ ⁵.

Pengolahan tanah



Terdapat beberapa metoda yang berbeda dalam perhitungan keperluan air tanaman dan umumnya perhitungan tersebut tidak mencakup keperluan air selama pengolahan tanah. Sebagai contoh suatu metoda yang direkomendasikan oleh FAO hanya didasarkan pada evapotranspirasi tanaman acuan, faktor tanaman, pertimbangan semua kehilangan air irigasi dan hujan efektif. Keperluan air selama pengolahan tanah padi sawah umumnya menentukan puncak keperluan air irigasi pada suatu areal irigasi.

Beberapa faktor penting yang menentukan besarnya keperluan air

³ Berdasarkan penelitian di IRRI (International Rice Research Institute), Los Banos, Filipina

⁵ 1 liter = 10^{-3} m^3 ; 1 ha = 10^4 m^2 ; 1 hari = 24 jam = $24 \times 60 \times 60$ detik

selama pengolahan tanah adalah sebagai berikut :

- (1) Waktu yang diperlukan untuk pengolahan tanah yakni:
 - (a) perioda waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pengolahan tanah
 - (b) penambahan areal pengolahan tanah dalam suatu grup petakan sawah yang sangat tergantung pada ketersediaan tenaga kerja manusia, hewan atau traktor.
- (2) Volume air yang diperlukan untuk pengolahan tanah, yang tergantung pada:
 - (a) lengas tanah dan tingkat keretakan tanah pada waktu mulai pengolahan tanah
 - (b) laju perkolasi dan evaporasi
 - (c) kedalaman lapisan tanah yang diolah menjadi lumpur.

Beberapa hasil penelitian di Bali dan Sumatera menunjukkan keperluan air yang cukup besar antara 18 - 50 mm/hari (2,1 – 5,8 l/det/ha) dengan total keperluan air sekitar 400 - 900 mm⁶.

Perioda pengolahan tanah

Kondisi sosial dan tradisi yang ada serta ketersediaan tenaga kerja manusia, hewan atau traktor di suatu daerah sangat menentukan lamanya pengolahan tanah. Pada umumnya perioda yang diperlukan setiap petakan sawah untuk pengolahan tanah (dari mulai air diberikan sampai siap tanam) adalah sekitar 30 hari. Sebagai suatu pegangan biasanya sekitar 1,5 bulan diperlukan untuk menyelesaikan pengolahan tanah di suatu petak tersier. Pada beberapa kasus di mana alat dan mesin mekanisasi tersedia dalam jumlah



yang cukup, perioda tersebut dapat diperpendek sampai sekitar 1 bulan. Total perioda pengolahan tanah di suatu daerah irigasi biasanya antara 1,5 sampai 3 bulan tergantung pada jumlah golongan⁷ yang dipakai.

Volume air yang diperlukan untuk pengolahan tanah

Keperluan air selama pengolahan tanah mencakup keperluan untuk menjenuhkan tanah dan suatu lapisan genangan yang diperlukan segera setelah tanam. Rumus di bawah ini dapat digunakan untuk menduga keperluan air pada waktu pengolahan tanah:

$$S = [S(a) - S(b)] \times N \times d \times 10^{-4} + F1 + \frac{Fd}{3}$$

di mana S: keperluan air pengolahan lahan (mm), S(a): lengas tanah sesudah pelumpuran (%), S(b): lengas tanah sebelum pelumpuran (%), N: porositas tanah (%), d: kedalaman lapisan tanah yang dilumpurkan (mm), F1 : kehilangan air selama pelumpuran (mm), Fd: tinggi



⁶ Binnie and Partners Ltd

⁷ Sistim golongan disebut juga *staggering*

genangan di petakan sawah setelah tanam (mm).

Meskipun rumus tersebut cukup akurat untuk menghitung keperluan air akan tetapi beberapa parameter sering terjadi beragam di lapangan. Dengan demikian seringkali keperluan air pengolahan tanah diduga dari pengalaman di lapangan. Untuk tanah bertekstur liat berat tanpa retakan, keperluan air diambil sebesar 250 mm. Jumlah ini mencakup untuk penjemuran, pelumpuran dan juga 50 mm genangan air setelah tanam. Apabila lahan dibiarkan bera untuk waktu yang cukup lama (misal 1,5 bulan) sehingga tanah retak-retak, jumlah air yang diperlukan sekitar 300 mm. Untuk tekstur yang lebih ringan angka tersebut akan lebih besar dari angka di atas.

Debit yang diperlukan

Laju penambahan areal pada waktu pengolahan tanah di suatu jalur petakan-petakan sawah yang mendapat pasok air dari satu inlet secara kolektif dalam suatu petak tersier, akan menentukan besarnya debit yang diperlukan. Terdapat 3 konsep tentang laju penambahan areal pengolahan tanah dalam suatu kelompok petakan sawah yakni :

- (a) Debit yang masuk ke inlet konstan selama pengolahan tanah (I mm/hari = konstan)
- (b) Laju penambahan areal lahan yang diolah konstan (dy/dt dalam ha/hari = konstan)

Laju penambahan areal lahan yang diolah mengikuti kurva distribusi Gauss atau yang lainnya dengan nilai maksimum pada pertengahan perioda pengolahan lahan (T) atau $dy/dt = \text{maksimum}$ pada $t = \frac{1}{2} T$. Kasus yang pertama akan diuraikan di sini dan dikenal sebagai metoda pendekatan dari van de Goor dan Zijlstra. Konsep tersebut mengatakan bahwa suatu debit konstan diberikan pada suatu bagian dari unit tersier selama pengolahan tanah. Selama perioda tersebut diasumsikan air akan mengalir mengisi petakan-petakan sawah secara progresif. Sementara itu petakan yang lebih rendah akan terisi melalui limpasan dari petakan di atasnya setelah penuh. Diasumsikan bahwa petakan di atasnya secara kontinyu diisi air untuk memenuhi kehilangan air akibat perkolasi dan evaporasi (Gambar 2 dan Gambar 7).

Dengan demikian pada tingkat awal, keperluan air adalah untuk penjemuran tanah dan mempertahankan suatu genangan lapisan air, sedangkan pada ahir perioda pengolahan tanah mempertahankan lapisan genangan air adalah merupakan faktor yang dominan (*the topping up requirement*). Dengan demikian bagian areal unit tersier yang sedang diolah (A ha) menerima volume air pada perioda waktu dt sebesar $I A dt$, dengan debit sebesar I . Dari jumlah air tersebut sebagian ($M y dt$) digunakan untuk mempertahankan lapisan air di lahan yang telah dijenuhkan (y ha), sedangkan sisanya ($S dy$) digunakan untuk menjenuhkan areal baru sebesar dy ha.

$$I A dt = M y dt + S dy \quad \dots /4/$$

M : *topping up requirement* (mm/hari); I : laju pemberian air (mm/hari); T : lama perioda pengolahan lahan dari mulai awal pemberian air sampai tanam (hari); S : jumlah air yang diperlukan untuk menjenuhkan tanah dan menciptakan lapisan genangan air (mm).

Persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$dt = S \frac{dy}{IA - My} \dots /4/, \text{ maka } t = S \int \frac{dy}{IA - My} = -\frac{S}{M} \ln(IA - My) + C \dots /5/$$

pada $t = 0 \rightarrow y = 0$, maka $C = \frac{S}{M} \ln(IA)$, maka $t = \frac{S}{M} \ln \frac{IA}{IA - My} \dots /6/$

pada $t = T \rightarrow y = A$, maka $T = \frac{S}{M} \ln \frac{I}{I - M}$, maka $\ln \frac{I}{I - M} = \frac{MT}{S} \dots /7/;$

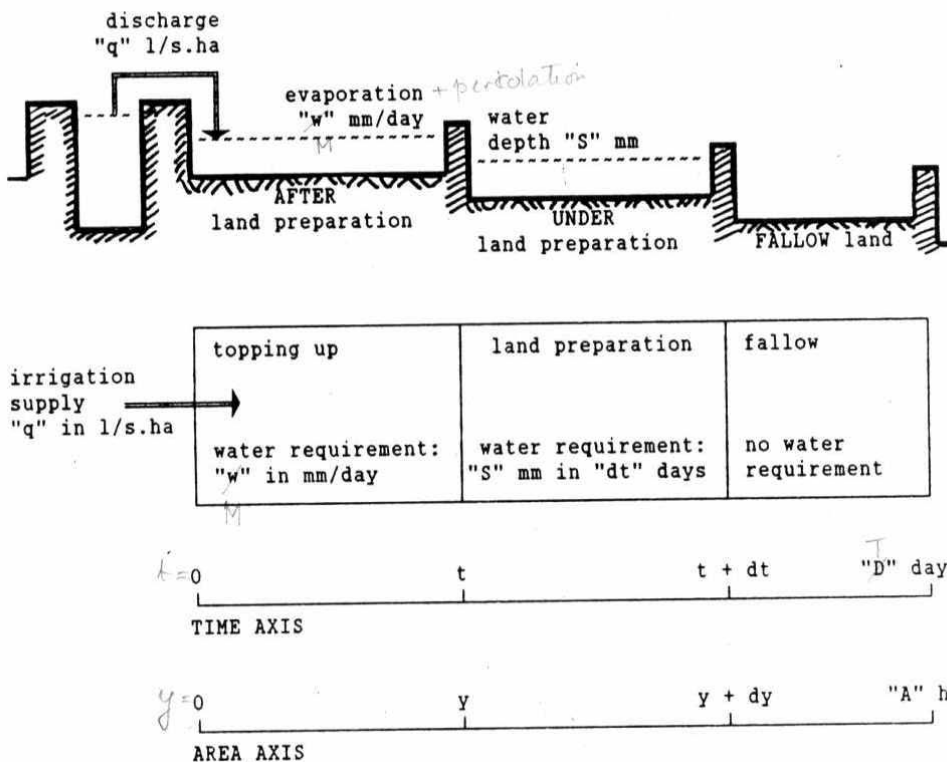
maka $\frac{I}{I - M} = e^{\frac{MT}{S}}$ dan akhirnya $I = \frac{M e^{\frac{MT}{S}}}{e^{\frac{MT}{S}} - 1} \dots /8/$

Apabila $k = MT/S$; maka $I = \frac{M e^k}{e^k - 1} \dots /9/$

Pada persamaan /9/ dapat dilihat bahwa A tidak mempengaruhi I. Untuk berbagai nilai S, T dan M (evaporasi dan perkolasi) maka besarnya I dengan menggunakan rumus di atas dapat dilihat pada Tabel 1. Umumnya keperluan air pengolahan tanah berkisar antara 1,5 – 1,7 l/det/ha untuk nilai M antara 5 - 8 mm/hari dan S = 300 mm dengan T = 30 hari.

Keperluan air untuk pesemaian

Areal pesemaian umumnya antara 2% - 10% dari areal tanam. Lama pertumbuhan antara 20 - 25 hari. Jumlah keperluan air di pesemaian kurang lebih sama dengan penyiapan lahan. Sehingga keperluan air untuk pesemaian biasanya disatukan dengan keperluan air untuk pengolahan tanah.



Gambar 2. Skhematisasi laju pengaliran air pada formula van de Goor dan Zijlstra

Keperluan air pada berbagai tahap pertumbuhan tanaman

Tahap pertumbuhan padi dibagi menjadi: (a) pesemaian (10-30 hss)⁸ (*seedling atau juvenile period*), (b) periode pertumbuhan vegetatif (0-60 hst), (c) periode reproduktif atau generatif (50-100 hst) dan (d) periode pematangan (100-120 hst) (*ripening period*) (Gambar 3)

Periode pesemaian

Periode ini merupakan awal pertumbuhan yang mencakup tahap perkecambahan benih serta perkembangan *radicle* (akar muda) dan *plume* (daun muda). Selama periode ini air yang dikonsumsi sedikit sekali. Apabila benih tergenang cukup dalam pada waktu cukup lama sepanjang periode perkecambahan, maka pertumbuhan *radicle* akan terganggu karena kekurangan oksigen.

Pertumbuhan vegetatif

Periode ini merupakan periode berikutnya setelah tanam (*transplanting*) yang mencakup (a) tahap pemulihan dan pertumbuhan akar (0-10 hst), (b) tahap pertumbuhan anakan maksimum (10-50 hst) (*maximum tillering*) dan (c) pertunasan efektif dan pertunasan tidak efektif (35-45 hst). Selama periode ini akan terjadi pertumbuhan jumlah anakan.

Segera setelah tanam, kelembaban yang cukup diperlukan untuk perkembangan akar-akar baru. Kekeringan yang terjadi pada periode ini akan menyebabkan pertumbuhan yang jelek dan hambatan pertumbuhan anakan sehingga mengakibatkan penurunan hasil. Pada tahap berikutnya setelah tahap pertumbuhan akar, genangan dangkal diperlukan selama periode vegetatif ini. Beberapa kali pengeringan (*drainase*) membantu pertumbuhan anakan dan juga merangsang perkembangan sistim akar untuk berpenetrasi ke lapisan tanah bagian bawah. Fungsi respirasi akar pada periode ini sangat tinggi sehingga ketersediaan udara (*aerasi*) dalam tanah dengan cara drainase (*pengeringan lahan*) diperlukan untuk menunjang pertumbuhan akar yang mantap. Selain itu drainase juga membantu menghambat pertumbuhan anakan tak-efektif (*non-effective tillers*).

Tabel 1. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan padi sawah (mm/hari)

Evaporasi + Perkolasi M mm/hari	T = 30 hari				T = 45 hari			
	S = 300 mm		S = 250 mm		S = 300 mm		S = 250 mm	
	I mm/hari	I lt/det/ha	I mm/hari	I lt/det/ha	I Mm/hari	I lt/det/ha	I mm/hari	I lt/det/ha
5,0	12,7	1,47	11,1	1,28	9,05	1,10	8,4	0,97
5,5	13,0	1,50	11,4	1,32	9,08	1,13	8,8	1,02
6,0	13,3	1,54	11,7	1,35	10,1	1,17	9,1	1,05
6,5	13,6	1,57	12,0	1,39	10,4	1,20	9,4	1,09
7,0	13,9	1,61	12,3	1,43	10,8	1,25	9,8	1,13
7,5	14,2	1,64	12,6	1,46	11,1	1,28	10,1	1,17
8,0	14,5	1,68	13,0	1,50	11,4	1,32	10,5	1,22
8,5	14,8	1,71	13,3	1,54	11,8	1,36	10,8	1,25
9,0	15,2	1,76	13,6	1,57	12,1	1,41	11,2	1,30
9,5	15,5	1,79	14,0	1,62	12,5	1,45	11,6	1,34
10,0	15,8	1,83	14,3	1,65	12,9	1,48	12,0	1,39
10,5	16,2	1,88	14,7	1,70	13,2	1,53	12,4	1,44
11,0	16,5	1,91	15,0	1,73	13,6	1,57	12,8	1,48

⁸ hss: hari setelah semai; hst: hari setelah tanam

Periode reproduktif (generatif)

Periode ini mengikuti periode anakan maksimum dan mencakup tahap perkembangan awal malai (*panicle primordia*) (40-50 hst), masa bunting (50-60 hst)(*booting*), pembentukan bunga (60-80 hst) (*heading and flowering*). Situasi ini dicirikan dengan pembentukan dan pertumbuhan malai.

Pada sebagian besar dari periode ini dikonsumsi banyak air. Kekeringan yang terjadi pada periode ini akan menyebabkan beberapa kerusakan yang disebabkan oleh terganggunya pembentukan *panicle*, *heading*, pembungaan dan fertilisasi yang berakibat pada peningkatan sterilitas sehingga mengurangi hasil.

Periode pematangan (*ripening atau fruiting*)

Periode ini merupakan periode terakhir dimana termasuk tahapan pembentukan susu (80-90 hst) (*milky*), pembentukan pasta (90-100 hst) (*dough*), matang kuning (100-110 hst) (*yellow ripe*) dan matang penuh (110-120 hst) (*full ripe*). Selama periode ini sedikit air diperlukan dan secara berangsur-angsur sampai sama sekali tidak diperlukan air sesudah periode matang kuning (*yellow ripe*). Selama periode ini drainase perlu dilakukan, akan tetapi pengeringan yang terlalu awal akan mengakibatkan bertambahnya gabah hampa dan beras pecah (*broken kernel*), sedangkan pengeringan yang terlambat mengakibatkan kondisi kondusif tanaman rebah.

Pada periode vegetatif jumlah air yang dikonsumsi sedikit, sehingga kekurangan air pada periode ini tidak mempengaruhi hasil secara nyata asalkan tanaman sudah pulih dan sistem perakarannya sudah mapan. Tahapan sesudah *panicle primordia*, khususnya pada masa bunting, *heading* dan pembungaan memerlukan air yang cukup. Kekurangan air selama periode tersebut menghasilkan pengurangan hasil tak terpulihkan. Dengan demikian perencanaan program irigasi di areal dimana jumlah air irigasinya terbatas untuk menggenangi sawah pada seluruh periode, prioritas harus diberikan untuk memberikan air irigasi selama periode pemulihan dan pertumbuhan akar serta seluruh periode pertumbuhan reproduktif.

Jumlah konsumsi air dan hasil padi

Jumlah air yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman padi dari mulai tanam sampai panen tergantung pada berbagai faktor yakni: (a) lengas tanah tahap awal, (b) jenis dan kesuburan tanah, (c) lama periode pertumbuhan, (d) metoda kultur-teknik, (e) topografi, (f) varietas tanaman dan lain-lain.

Penelitian di IRRI⁹ (1970) selama musim kemarau tahun 1969 memperlihatkan bahwa jika total jumlah air yang dikonsumsi antara 750 mm~1000 mm, tidak memperlihatkan perubahan hasil yang nyata. Tetapi jika lebih kecil dari 550 mm, maka tidak ada hasil yang didapat (Gambar 4). Di Taiwan hasil penelitian pada musim hujan memperlihatkan penurunan hasil yang cukup nyata jika jumlah air yang dikonsumsi tanaman kurang dari 600 mm. Di Jepang, Iyozaki (1956) melaporkan bahwa keperluan air untuk mendapatkan hasil optimum adalah antara selang 20 mm sampai 30 mm per hari. Jumlah ini dapat dipertimbangkan optimum pada kondisi pemupukan berat dan teknik pemeliharaan intensif. Varietas unggul umumnya tidak memperlihatkan penurunan hasil pada kedalaman genangan sampai 15 cm. Di atas kedalaman genangan tersebut diduga akan terjadi penurunan hasil akibat dari pelemahan *culms* dan pengurangan jumlah anakan.

⁹ IRRI: International Rice Research Institute di Filipina

Pengelolaan air terkendali juga memperlihatkan pengurangan pertumbuhan gulma. Williams (1969) memperlihatkan dengan genangan 15 cm, pertumbuhan rumput-rumputan dan teki-teki (*sedges*) akan tertekan, tetapi pada genangan 7,5 cm beberapa gulma berdaun lebar dan teki-teki tumbuh dengan baik. Sebagai kesimpulan, lingkungan air pada tanaman padi adalah relatif kritis pada kondisi di bawah jenuh tetapi relatif toleran terhadap genangan air pada kedalaman antara 10 ~ 15 cm. Di atas kedalaman tersebut akan terjadi pengurangan hasil.

Metoda pemberian air pada padi sawah

Terdapat dua metoda pemberian air untuk padi sawah yakni: (a) Genangan terus-menerus (*continuous submergence*) yakni sawah digenangi terus menerus sejak tanam sampai panen; (b) Irigasi terputus atau berkala (*intermittent irrigation*) yakni sawah digenangi dan dikeringkan berselang-seling. Permukaan tanah diijinkan kering pada saat irigasi diberikan.

Keuntungan irigasi berkala adalah sebagai berikut: (a) menciptakan aerasi tanah, sehingga mencegah pembentukan racun dalam tanah, (b) menghemat air irigasi, (c) mengurangi masalah drainase, (d) mengurangi emisi metan¹⁰, (e) operasional irigasi lebih susah. Keuntungan irigasi kontinyu adalah: (a) tidak memerlukan kontrol yang ketat, (b) pengendalian gulma lebih murah, (c) operasional irigasi lebih mudah.

Evapotranspirasi Tanaman

Evapotranspirasi tanaman dapat diketahui dengan cara pengukuran dan pendugaan. Metoda pendugaan evapotranspirasi acuan (ET_o) dapat digunakan apabila data iklim di daerah tersebut tersedia. Berbagai metoda pendugaan ET_o menurut FAO adalah: (a) Thornthwaite, (b) Blaney dan Criddle, (c) Radiasi, (d) Panci evaporasi, dan (d) Penman.

Akhir-akhir ini (1999) FAO merekomendasikan metoda Penman-Monteith untuk digunakan jika data iklim tersedia (suhu rerata udara harian, jam penyinaran rerata harian, kelembaban relatif rerata harian, dan kecepatan angin rerata harian). Selain itu diperlukan juga data letak geografi dan elevasi lahan di atas permukaan laut. Evapotranspirasi tanaman acuan (*reference crop evapotranspiration, ET_o*) didefinisikan sebagai evapotranspirasi dari tanaman rumput berdaun hijau, tinggi sekitar 15 cm, tumbuh sehat, cukup air, dan menutupi tanah dengan sempurna.

Evapotranspirasi tanaman untuk tanaman tertentu dihitung dengan persamaan: $ET_c = k_c \times ET_o$, dimana ET_c: evapotranspirasi tanaman tertentu (mm/hari), ET_o: evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari), k_c: koefisien tanaman yang tergantung pada jenis dan periode pertumbuhan tanaman. Nilai koefisien tanaman untuk tanaman padi disarankan menggunakan data dari FAO juga, karena nilai k_c padi dari beberapa literatur di Indonesia umumnya menggunakan pendugaan evapotranspirasi tanaman acuan dengan metoda yang berlainan. Koefisien tanaman padi yang disarankan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan FAO tercantum pada Tabel 2 .

¹⁰ Penelitian di Taiwan: emisi metan pada genangan kontinyu ($28.85 \pm 3.25 \text{ g/m}^2$; rerata laju emisi $9.54 \pm 1.07 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) lebih besar daripada intermittent (rerata $15.27 \pm 1.46 \text{ g/m}^2$; rerata laju emisi $5.39 \pm 0.56 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Sumber: Shang-Shyng Yang, Hsu-Lan Chang, 2000 (National Taiwan University). Effect of green manure amendment and flooding on methane emission from paddy fields. Chemosphere – Global Change Science, 3 (2001) 41-49. Pergamon. Elsevier Science Ltd.

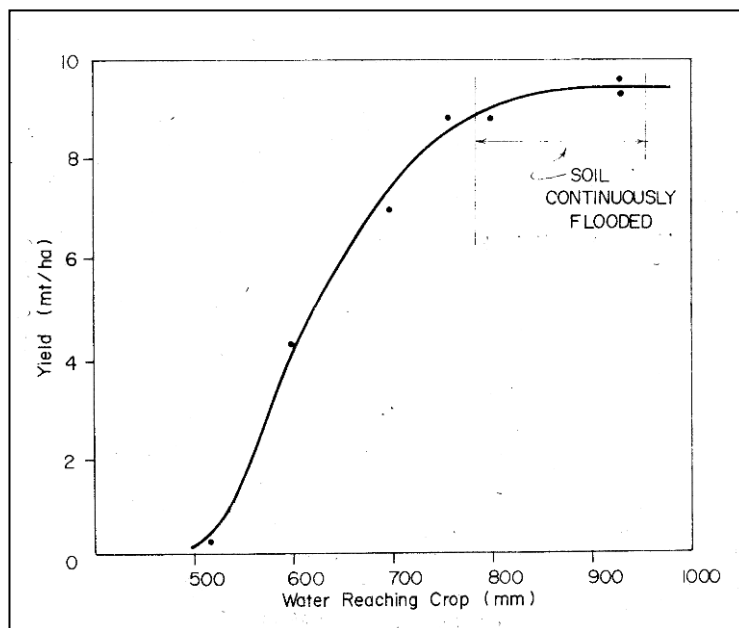
Tabel 2. Koefisien tanaman padi (kc)

Selama penyiapan Lahan	Varietas Unggul Baru	Varietas Lokal
		1,20
Setengah bulanan sesudah tanam		
0,5	1,20	1,20
1,0	1,27	1,20
1,5	1,33	1,32
2,0	1,30	1,40
2,5	1,30	1,35
3,0	0	1,24
3,5		1,12
4,0		0

Perkolasi dan Rembesan

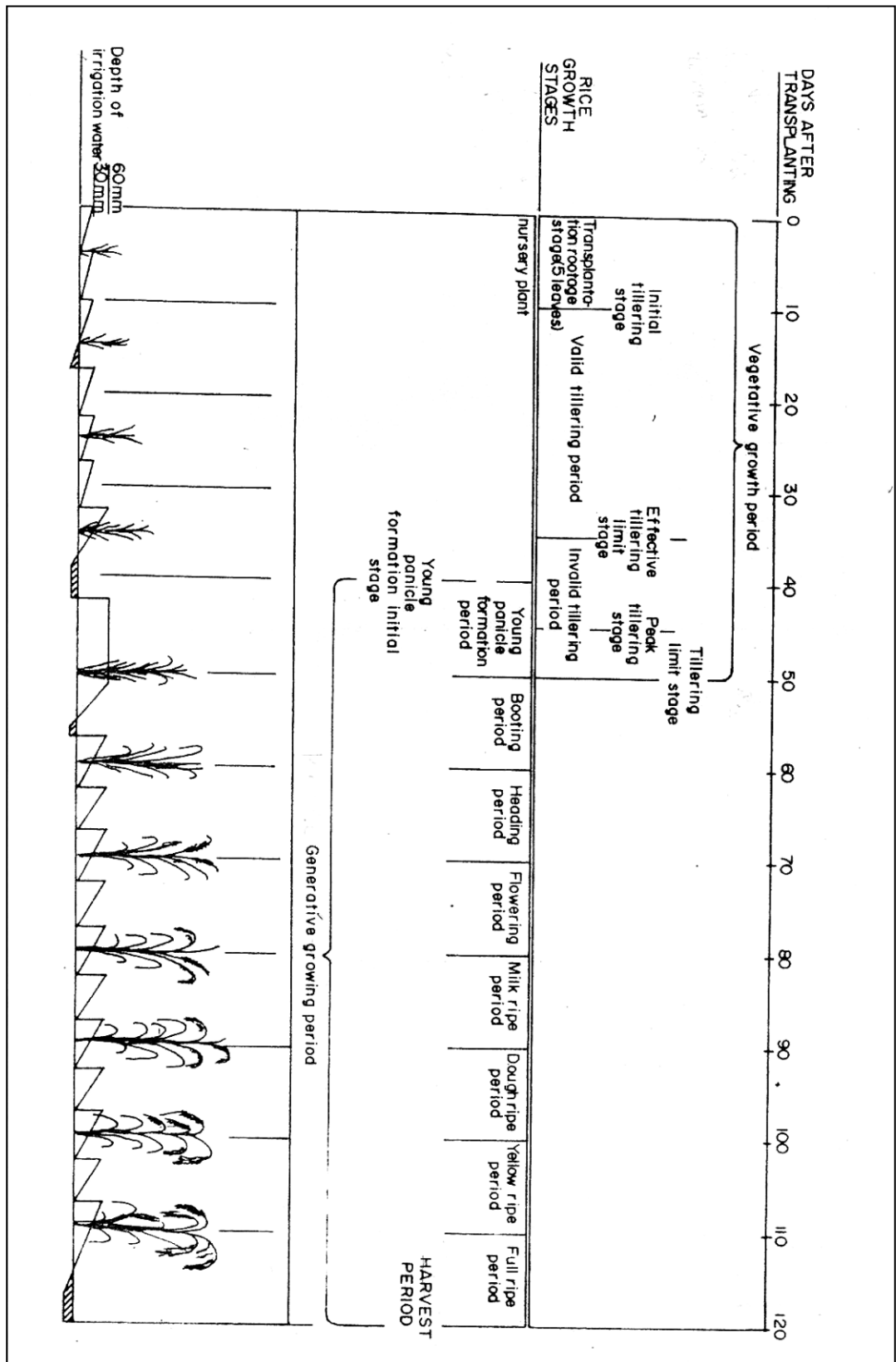
Pada lahan yang baru dibuka laju perkolasi biasanya sangat tinggi sekitar 10 mm/hari atau lebih. Pada proses pelumpuran, koloid partikel liat akan mengendap ke lapisan bawah pada kedalaman lapisan olah (sekitar 20 cm) membentuk suatu lapisan tanah. Sesudah puluhan tahun pengolahan tanah dengan pelumpuran biasanya lapisan kedap (lapisan tapak bajak)¹¹ akan terbentuk sehingga laju perkolasi berkurang menjadi sekitar 1 - 3 mm/hari pada tekstur liat berat. Sedangkan pada tanah bertekstur ringan kadang-kadang masih cukup tinggi sekitar 10 mm/hari.

Pada kondisi tersebut laju perkolasi merupakan aspek dominan dalam penentuan jumlah keperluan air. Rembesan (*seepage*) didefinisikan sebagai kehilangan air melalui galengan yang disebabkan oleh lubang tikus, ketam atau retakan tanah pada galengan. Apabila lahan relatif datar dan genangan air di petakan sawah relatif sama, maka rembesan cenderung mengecil. Pada lahan miring dengan teras bangku maka kehilangan karena rembesan sangat tinggi (sekitar 20 mm/hari). Petakan sawah tertinggi harus diairi secepat mungkin dan laju pembuangan air di petakan terendah harus secepat mungkin.



Gambar 4. Hasil padi IR-8 sebagai fungsi jumlah air yang digunakan (Reyes R., 1960. IRRI, Los Banos, Filipina)

¹¹ Lapisan bajak disebut juga lapisan keras (*hardpan*) atau *plow sole*



Gambar 3. Periode pertumbuhan padi sawah dan pemakaian air

Pengukuran jumlah air yang dikonsumsi tanaman

Untuk menentukan jumlah air yang dikonsumsi tanaman dapat digunakan berbagai metoda sebagai berikut: (a) metoda tangki pengamatan, (b) percobaan petakan di lapangan, dan (c) metoda *inflow-outflow* (keseimbangan air).

Metoda tangki pengamatan

Beberapa drum dipasang di sawah (Gambar 5). Masing-masing terdiri dari 3 buah drum yakni: (a) drum A adalah tangki dengan dasar terbuka berisikan tanaman untuk mengukur penggunaan air konsumtif dan perkolasi (E+T+P), (b) Drum B adalah tangki dengan dasar terbuka tanpa tanaman untuk mengukur evaporasi dan perkolasi (E+P), dan (c) drum C dengan dasar tertutup tanpa tanaman untuk mengukur evaporasi (E). Dengan demikian: Transpirasi = A – B; Perkolasi = B – C; Evapotranspirasi = A – (B – C)

Percobaan petakan di lapangan



Pengukuran konsumsi air dengan petakan-petakan sawah di lapangan pada areal irigasi yang seragam umumnya lebih dapat diandalkan hasilnya dibandingkan dengan pengukuran pada drum. Ukuran petakan lapangan bervariasi dengan bentuk dan variasi petakan sawah pada areal yang mewakili. Tiang ukur miring (*sloping gages*) dipasang untuk pengamatan tinggi muka air harian (Gambar 6). Jika petakan yang diamati cukup banyak, maka hasil yang didapat akan lebih teliti. Pematang

sekeliling petakan harus tertutup dan kedap air untuk menghindari bocoran, inflow (IR atau GI) atau outflow (DR atau GO).

Keperluan air harian di petakan, diperoleh dengan membagi total kedalaman air yang terukur tiang ukur miring segera sesudah hujan atau sesudah irigasi dengan jumlah hari yang diperlukan untuk mengeringkan petakan.

Metoda keseimbangan air (*inflow-outflow*)

Metoda ini terdiri dari pengukuran air yang masuk dan yang keluar dari petakan terpilih. Keseimbangan air dapat ditulis sebagai berikut (Gambar 6):

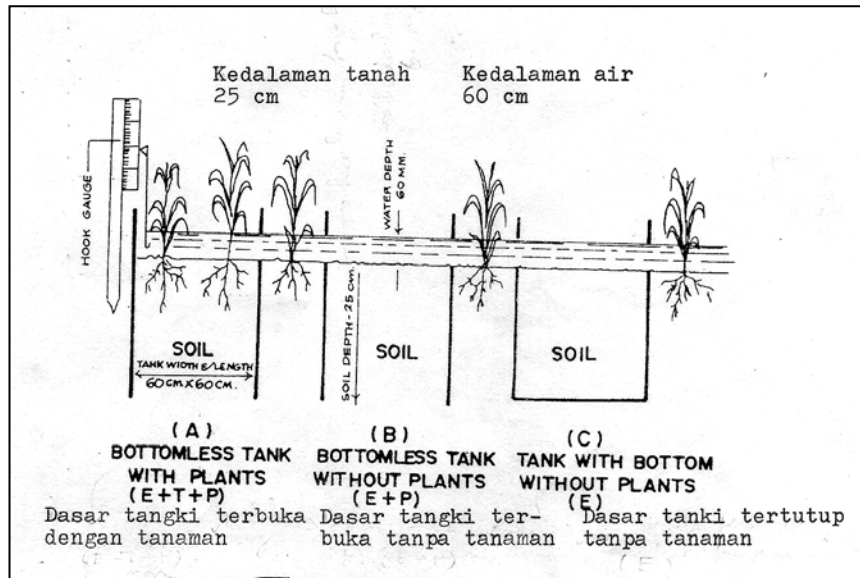
$$RN + IR + GI = DR + GO + ET + \Delta WD + P \quad \dots/10/$$

dimana RN: hujan, IR: inflow air permukaan (irigasi), DR: outflow air permukaan (drainase), GI: lateral inflow airtanah dangkal, GO: lateral outflow airtanah dangkal, ET: evapotranspirasi, ΔWD : perubahan simpanan (*storage*), P: perkolasi.

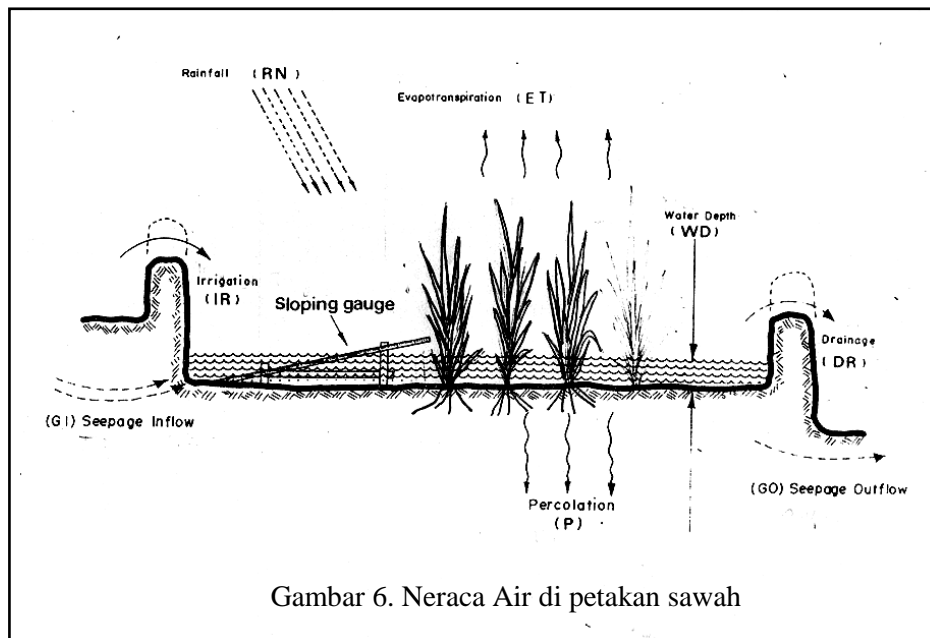
Dengan cara lain maka:

$$IR - DR = ET + (GO - GI) + \Delta WD + P - RN \quad /11/$$

Selama musim kemarau RN diasumsikan nol, maka dapat diasumsikan $GO = GI$. Jika ΔWD diasumsikan konstan, maka jumlah air yang dikonsumsi $D = ET + P = (IR - DR)$. Jumlah tersebut menggambarkan keperluan air untuk evapotranspirasi tanaman ditambah dengan perkolasi. Perkolasi dapat dipisahkan dari D dengan menghitung ET dengan persamaan empirik.



Gambar 5. Metoda pengamatan tangki lisimeter untuk tanaman padi



Gambar 6. Neraca Air di petakan sawah

Hujan efektif

Hujan efektif adalah bagian dari total hujan yang secara langsung memenuhi keperluan air untuk tanaman. Hujan efektif untuk padi sawah merupakan aspek yang masih dipertentangkan, sehingga asumsi hujan efektif dalam perencanaan proyek masih beragam. Hujan efektif untuk sawah tadah hujan hampir 100%, sedangkan pada sawah

beririgasi dimana genangan dipertahankan penuh secara kontinyu maka hujan efektif dapat dikatakan nol. Pada kenyataannya efektifitas hujan pada petakan sawah merupakan sesuatu yang kompleks dan tergantung pada: (a) karakteristik hujan, apakah hujan terjadi dengan interval waktu teratur atau sangat beragam; (b) keragaman tinggi genangan air di petakan-petakan sawah, dan (c) metoda pemberian air irigasi apakah kontinyu atau berkala.

Pada daerah irigasi dengan topografi begelombang sampai miring, pemberian air irigasi ke petakan sawah umumnya dilakukan dari saluran kwarter masuk ke petakan sawah tertinggi kemudian setelah petakan tersebut cukup mendapat air, maka air melimpas ke petakan di bawahnya. Petakan-petakan sawah yang mendapat air dari satu inlet membentuk suatu jalur (*inlet group*) (Gambar 7). Limpasan air ke petakan bawah dibuat dengan jalan memotong galengan di petakan atas pada elevasi tertentu sehingga limpasan terjadi dengan sendirinya apabila genangan yang diinginkan di petakan atas telah dicapai. Sistem irigasi ini disebut dengan pemberian air dari petak ke petak (*plot to plot irrigation*).

Dalam situasi debit air berkurang dari rencana maka petakan sawah atas masih mendapatkan air secara penuh sedangkan yang di bawah tidak mendapatkan air. Jadi apabila jumlah air irigasi diperhitungkan dengan hujan efektif (misalnya 30% dari keperluan tanaman), maka 30% petakan bawah akan tidak memperoleh air irigasi sampai hujan betul-betul terjadi. Apabila hujan turun maka akan terjadi limpasan dari petakan atas dan mengisi petakan bawah, akan tetapi kemungkinan pada waktu itu tanaman di petakan bawah telah mengalami cekaman (*stress*) kekurangan air.

Ketergantungan terhadap hujan di petakan bawah dapat ditanggulangi dengan menggunakan persentase hujan efektif yang lebih kecil dan menerima kenyataan bahwa sebagian hujan yang akan terbuang cukup besar. Apabila pemberian air dilakukan secara rotasi (giliran) maka hujan efektif akan lebih besar dari pada pemberian air kontinyu. Efektifitas hujan akan lebih besar apabila selang waktu rotasi tersebut menjadi lebih lama, akan tetapi selang waktu rotasi dibatasi oleh jumlah hari di mana genangan di petakan sawah akan kembali nol (biasanya 5 sampai 10 hari). Efektifitas hujan pada daerah irigasi berkisar antara 100% pada sawah tadah hujan dan 0% pada irigasi teknis sempurna. Hujan efektif untuk padi sawah beririgasi dalam mm/hari umumnya diduga sebesar 70% dari hujan tengah bulanan dengan perioda ulang 5 tahun (dalam mm/hari) selama pengolahan lahan, dan 40% sesudah tanam sampai panen.

Pergantian lapisan genangan air

Pada waktu pemupukan genangan air diturunkan sampai ketinggian tertentu (macak-macak). Kemudian sesudah pemupukan air dipertahankan macak-macak beberapa hari sambil dilakukan penyiangan (merumput). Setelah itu lapisan genangan air secara berangsur-angsur ditambah sampai mencapai tinggi genangan yang dikehendaki. Dengan demikian tambahan air irigasi pada proses itu harus diperhitungkan.

Umumnya untuk HYV tinggi genangan sekitar 70 mm. Pengeringan pada waktu pemupukan mengakibatkan genangan sekitar 10 - 20 mm (macak-macak). Dengan demikian diperlukan sekitar 50 mm air untuk mengembalikan ke genangan semula. Waktu yang diperlukan untuk pergantian air tergantung pada varietas padi, perioda tumbuh dan kebiasaan lokal. Cukup beralasan dalam perencanaan untuk

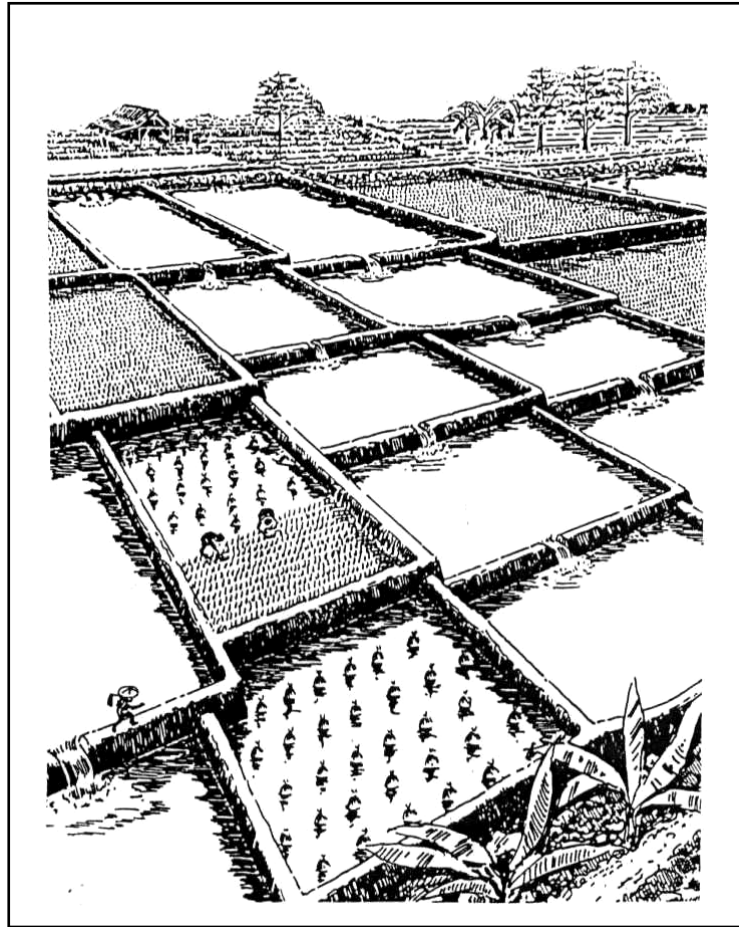
mengasumsikan 3 kali pengeringan, yakni (a) pada waktu tanam, (b) 1 bulan sesudah tanam pada waktu masa anakan, dan (c) 2 bulan sesudah tanam pada waktu pembentukan malai. Biasanya pengisian air kembali sesudah tanam diperhitungkan dalam perhitungan keperluan air untuk pengolahan tanah. Lama waktu pengisian kembali setebal 50 mm air biasanya diasumsikan memerlukan waktu sekitar $\frac{1}{2}$ bulan, jadi laju pengisian adalah sebesar 3,3 mm/hari.

Keperluan Air Neto untuk suatu "inlet group"

Pada umumnya suatu kelompok petakan sawah menerima air dari saluran kwarter atau tersier melalui suatu inlet yang digunakan secara kolektif. Satu jalur terdiri dari beberapa petani pemilik petakan sawah (lihat Gambar 7). Jumlah petani dalam satu inlet kolektif tergantung pada: (a) ukuran petakan sawah, (b) kerapatan jaringan distribusi dalam unit tersier, (c) luas garapan setiap petani, dan (d) topografi. Umumnya satu jalur terdiri dari 5 sampai 25 petani dengan total luasan antara 1 - 10 ha. Pada suatu kasus dimana hanya satu usahatani dalam satu jalur, maka jalur tersebut menjadi suatu *farm inlet*. Keperluan air neto untuk suatu jalur dapat dihitung dengan pendekatan bertahap dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang berbeda dalam penentuan keperluan air tanaman di petakan sawah seperti penyiapan lahan, pengisian lapisan air, pergantian air dan hujan efektif. Tahapan waktu 10 atau 14 hari diperlukan untuk membuat tabel perhitungan.

Suatu contoh perhitungan keperluan air neto untuk suatu jalur dengan awal kegiatan 1 Nopember, 16 Nopember dan 1 Desember disajikan dalam Tabel 3, 4 dan 5. Perhitungan pada tabel tersebut didasarkan pada data setengah bulanan evapotranspirasi dan setengah bulanan hujan dengan perioda ulang 5 tahun. Beberapa pertimbangan lainnya adalah:

- (a) Pengolahan tanah
 - lama pengolahan tanah, $T = 30$ hari
 - Keperluan air untuk pengolahan tanah pertama (MT1) pada ahir musim kemarau, $S(1) = 300$ mm
 - Keperluan air untuk pengolahan tanah kedua (MT2) pada ahir musim hujan, $S(2) = 250$ mm
 - Debit yang diperlukan (I) selama pengolahan tanah (dari Tabel 1)
- (b) *Topping up requirement*: keperluan air untuk mempertahankan genangan
 - koefisien tanaman kc untuk HYV (dari Tabel 2)
 - perkolasi dan rembesan $P+S = 2$ mm/hari
- (c) Pergantian lapisan air setelah pengeringan:
 - waktu drainase petakan sawah 1 dan 2 bulan setelah tanam
 - lama pengisian kembali $\frac{1}{2}$ bulan, $WLR = 3,3$ mm/hari
- (d) Hujan efektif :
 - faktor hujan efektif selama pengolahan tanah, $r = 0,7$
 - faktor hujan efektif selama tahap pertumbuhan, $r = 0,4$
- (e) Tahap pematangan padi dan pemberaan :
 - pematangan mulai dari 2,5 bulan setelah tanam berlangsung selama 0,5 bulan
 - sawah diberakan selama $\frac{1}{2}$ bulan setelah panen.



Gambar 7. Jalur irigasi (*inlet group*) pada irigasi *plot to plot*

Untuk menghindari keperluan air puncak pada suatu periode, maka areal dalam satu daerah irigasi dibagi menjadi beberapa golongan dengan beda awal tanam sekitar $\frac{1}{2}$ bulanan. Pada contoh ini Golongan I dimulai MT1 pada 1 Nopember, dan MT2 pada 16 Maret; Golongan II mulai MT1 pada 16 Nopember, dan MT2 pada 1 April; Golongan III mulai MT1 pada 1 Desember, dan MT2 pada 16 April.

Dari Tabel 3, 4, dan 5 dapat dilihat bahwa keperluan air terbesar terjadi pada pengolahan tanah di awal musim tanam sekitar $1,4 \sim 1,5$ lt/det/ha. Keperluan untuk pengolahan tanah pada MT2 ($1,1$ lt/det/ha) lebih kecil daripada MT1 ($1,5$ lt/det/ha), disebabkan karena total keperluan untuk pengolahan tanah (terutama untuk penjemuran) lebih kecil yakni 250 mm pada MT2 dan 300 mm pada MT1. Air irigasi neto selama pertumbuhan tanaman berkisar antara $0,61 \sim 0,75$ lt/det/ha, akan tetapi air irigasi yang diperlukan setelah pengeringan sawah berkisar antara $1,08 \sim 1,17$ lt/det/ha. Total jumlah air irigasi yang diperlukan per musim tanam di jalur inlet adalah sekitar 958 mm (9.580 m³/ha) pada MT1, dan 809 mm (8.090 m³/ha) pada MT2.

Tabel 3. Air irigasi neto yang diperlukan di jalur irigasi
(Golongan 1: awal pengolahan tanah MT1: 1 November, MT2: 16 Maret)

Data P (mm/hari) = 2

Setengah Bulanan	Evapotranspirasi (mm/hari)			Keperluan air (mm/hari) untuk			Hujan efektif			Air di inlet neto	
				Topping up	Pe-ngo- lahan	Pergan- tian air	(mm/hari)			nWN	
	ETo	kc	ETc	M	I	WLR	P (1:5)	r	Pe	(mm/ hari)	(l/det/ ha)
1-Nov	5.1	1.20	6.12	8.12	14.60		2.50	0.7	1.75	12.85	1.49
16	5.1	1.20	6.12	8.12	14.60		2.90	0.7	2.03	12.57	1.46
1-Dec	4.7	1.20	5.64	7.64			3.40	0.4	1.36	6.28	0.73
16	4.7	1.27	5.97	7.97			3.20	0.4	1.28	6.69	0.78
1-Jan	4.3	1.33	5.72	7.72		3.30	2.60	0.4	1.04	9.98	1.16
16	4.3	1.30	5.59	7.59			3.00	0.4	1.20	6.39	0.74
1-Feb	4.8	1.30	6.24	8.24		3.30	3.50	0.4	1.40	10.14	1.18
16	4.8	matang		0.00			4.20			0.00	0.00
1-Mar	4.9		0.00	0.00			4.90			0.00	0.00
16	4.9	1.20	5.88	7.88	13.00		5.10	0.7	3.57	9.43	1.09
1-Apr	4.5	1.20	5.40	7.40	12.60		5.50	0.7	3.85	8.75	1.02
16	4.5	1.20	5.40	7.40			5.00	0.4	2.00	5.40	0.63
1-May	4.2	1.27	5.33	7.33			4.60	0.4	1.84	5.49	0.64
16	4.2	1.33	5.59	7.59		3.30	4.30	0.4	1.72	9.17	1.06
1-Jun	4.1	1.30	5.33	7.33			4.00	0.4	1.60	5.73	0.66
16	4.1	1.30	5.33	7.33		3.30	3.10	0.4	1.24	9.39	1.09
1-Jul	4.6	matang		0.00			2.50			0.00	0.00
16-Jul	4.6						2.20				
1-Aug	4.9						1.60				
16	4.9						1.10				
1-Sep	5.5						0.70				
16	5.5						0.50				
1-Oct	5.3						0.40				
16	5.3						1.80				

ETo: evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari), kc: koefisien tanaman, ETc: evapotranspirasi tanaman (mm/hari), M: keperluan air untuk mempertahankan genangan = ETc + Perkolasi + Rembesan (mm/hari), I: debit untuk pengolahan tanah (mm/hari) tergantung pada lama pengolahan tanah (T) dan penjenruhan (S), WLR (*water layer replacement*): jumlah air yang diperlukan untuk mengembalikan genangan setelah proses pengeringan sawah (mm/hari), P (1:5): Hujan yang terjadi dengan periode ulang 5 tahunan (mm/hari), r: angka pengganda untuk hujan efektif, Pe: hujan efektif = r x P(1:5), nWN (*net Water Need*): Air irigasi neto yang diperlukan di inlet group (mm/hari dan liter/det/ha).

Tabel 4. Air irigasi neto yang diperlukan di jalur irigasi
(Golongan 2: awal pengolahan tanah MT1: 16 November, MT2: 1 April)

Data P (mm/hari) = 2

Golongan: 2 MT1: 16-Nov MT2: 1-Apr

Setengah Bulan an	Evapotransirasi (mm/hari)			Keperluan air (mm/hari) untuk			Hujan efektif (mm/hari)			Air di inlet neto	
				topping up	Pengola han	Pergant ian air				nWN	
	ETo	kc	ETc	M	I	WLR	P (1:5)	r	Pe	(mm/h ari)	(l/det/ ha)
1-Nov											
16	5.1	1.20	6.12	8.12	14.60		2.90	0.7	2.03	12.57	1.46
1-Dec	4.7	1.20	5.64	7.64	14.30		3.40	0.7	2.38	11.92	1.38
16	4.7	1.20	5.64	7.64			3.20	0.4	1.28	6.36	0.74
1-Jan	4.3	1.27	5.46	7.46			2.60	0.4	1.04	6.42	0.74
16	4.3	1.33	5.72	7.72		3.30	3.00	0.4	1.20	9.82	1.14
1-Feb	4.8	1.30	6.24	8.24			3.50	0.4	1.40	6.84	0.79
16	4.8	1.30	6.24	8.24		3.30	4.20	0.4		0.00	0.00
1-Mar	4.9	matang		0.00			4.90	0.4		0.00	0.00
16	4.9	bera	0.00	0.00			5.10	0.0	0.00	0.00	0.00
1-Apr	4.5	1.20	5.40	7.40	12.50		5.50	0.7	3.85	8.65	1.00
16	4.5	1.20	5.40	7.40	12.50		5.00	0.7	3.50	9.00	1.04
1-May	4.2	1.20	5.04	7.04			4.60	0.4	1.84	5.20	0.60
16	4.2	1.27	5.33	7.33			4.30	0.4	1.72	5.61	0.65
1-Jun	4.1	1.33	5.45	7.45		3.30	4.00	0.4	1.60	9.15	1.06
16	4.1	1.30	5.33	7.33			3.10	0.4	1.24	6.09	0.71
1-Jul	4.6	1.30	5.98	7.98		3.30	2.50	0.4	1.00	10.28	1.19
16	4.6	matang		0.00			2.20	0.4			0.00
1-Aug	4.9						1.60	0.4			
16	4.9						1.10	0.4			
1-Sep	5.5						0.70	0.4			
16	5.5						0.50				
1-Oct	5.3						0.40				
16	5.3						1.80				

Tabel 5. Air irigasi neto yang diperlukan di jalur irigasi
(Golongan 3: awal pengolahan tanah MT1: 1 Desember, MT2: 16 April)

Data P (mm/hari)= 2
Golongan: 3 Mulai MT1: 1-Dec MT2: 16-Apr

Setengah Bulan- an	Evapotransirasi (mm/hari)			Keperluan air (mm/hari) untuk			Hujan efektif (mm/hari)			Air di inlet neto	
				topping up	Pengola- han	Perga- ntian air				nWN	
	ETo	kc	ETc	M	tanah I	WLR	P (1:5)	r	Pe	(mm/ hari)	(l/det/ ha)
1-Nov 16											
1-Dec 16	4.7	1.20	5.64	7.64	14.30		3.40	0.7	2.38	11.92	1.38
1-Jan 16	4.7	1.20	5.64	7.64	14.30		3.20	0.7	2.24	12.06	1.40
1-Feb 16	4.3	1.20	5.16	7.16			2.60	0.4	1.04	6.12	0.71
1-Mar 16	4.3	1.27	5.46	7.46			3.00	0.4	1.20	6.26	0.73
1-Apr 16	4.8	1.33	6.38	8.38		3.30	3.50	0.4	1.40	10.28	1.19
1-May 16	4.8	1.30	6.24	8.24			4.20	0.4	1.68	6.56	0.76
1-Jun 16	4.9	1.30	6.37	8.37		3.30	4.90	0.4	1.96	9.71	1.13
1-Jul 16	4.9	matang		0.00			5.10	0.4	2.04	0.00	0.00
1-Aug 16	4.5	bera		0.00			5.50	0.4	2.20	0.00	0.00
1-Sep 16	4.5	1.20	5.88	7.88	12.90		5.00	0.7	3.50	9.40	1.09
1-Oct 16	4.2	1.20	5.40	7.40	12.50		4.60	0.7	3.22	9.28	1.08
1-Nov 16	4.2	1.20	5.40	7.40			4.30	0.4	1.72	5.68	0.66
1-Dec 16	4.1	1.27	5.33	7.33			4.00	0.4	1.60	5.73	0.67
1-Jan 16	4.1	1.33	5.59	7.59		3.30	3.10	0.4	1.24	9.65	1.12
1-Feb 16	4.6	1.30	5.33	7.33			2.50	0.4	1.00	6.33	0.73
1-Mar 16	4.6	1.30	5.33	7.33		3.30	2.20	0.4	0.88	9.75	1.13
1-Apr 16	4.9	matang		0.00			1.60	0.4	0.64	0.00	0.00
1-May 16	4.9						1.10				
1-Jun 16	5.5						0.70				
1-Jul 16	5.5						0.50				
1-Aug 16	5.3						0.40				
1-Sep 16	5.3						1.80				

3. Penelitian SRI (System of Rice Intensification)

Metode SRI yang pada awalnya dilakukan di Madagaskar oleh Fr. Henri de Lauline S.J., pendeta yang berasal dari Perancis yang sedang bertugas di sana pada tahun 1961, yang kemudian penerapannya berkembang dan dilakukan di berbagai negara. Di Indonesia Metode SRI mulai dikenal pada tahun 1999. Pada saat ini, tercatat lebih dari 20 negara telah mencoba dan menerapkan metode ini. Pada dasarnya, Metode SRI dikembangkan berdasarkan kreativitas petani setempat, dengan memanfaatkan dukungan sumber daya lokal.

System of Rice Intensification atau SRI mulai dikembangkan di Jawa Barat sejak tahun 1999. Pada bulan September tahun 2002 Bagian Proyek TGA, Proyek Irigasi Andalan Jawa Barat, Departemen Pekerjaan Umum telah mengagendakan SRI sebagai salah satu materi pelatihan Aktivitas Penyuluhan Pertanian. Pelatihan dilaksanakan selama empat

hari, dibagi dalam empat angkatan masing-masing 40 peserta. Total sampai tahun 2006 telah dilakukan pelatihan terhadap 3780 orang petani dan petugas instansi terkait. Sampai tahun 2005 diperkirakan seluas 402 ha sawah di seluruh Jabar (0,04%) telah menggunakan SRI-Organik. Menurut Direktorat Pengelolaan Lahan, Departemen Pertanian jumlah petani dan petugas terlatih SRI di Jawa Barat sampai tahun 2006 adalah sebanyak 6.200 orang, dan luas tanam SRI pada MT 2005/2006 adalah 570 ha.

SRI merupakan suatu metode budidaya padi yang memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan budidaya padi Konvensional. Kelebihan-kelebihan tersebut yaitu : (1). tanaman hemat air (pemberian genangan air maksimum 2 cm, paling baik macak-macak dan ada periode irigasi terputus/berselang); (2). hemat biaya (hanya membutuhkan benih 5 kg/ha, tenaga tanam berkurang dll); (3). hemat waktu (bibit muda, 10 hari setelah semai, panen lebih awal); (4) produksi lebih tinggi.

Kelebihan-kelebihan tersebut merupakan dampak dari penerapan prinsip-prinsip dasar Metode SRI seperti (1). tanam bibit muda berusia kurang dari 15 hari setelah semai, ketika bibit masih berdaun dua helai; (2). tanam bibit satu lubang satu dengan jarak tanam 25x25 cm, 30 x30 cm atau lebih jarang lagi; (3). pindah tanam harus sesegera mungkin (kurang dari 15 menit) dan harus hati-hati agar akar tidak putus. Benih ditanam dangkal (1~2 cm) membentuk huruf L; (4). Pemberian air maksimum 2 cm (macak-macak) dan pada periode tertentu dikeringkan sampai tanah retak (irigasi berselang/*intermittent*); (5). penyiangan sejak awal, sekitar umur 10 hari setelah tanam (HST) dan diulang 2-3 kali dengan interval 10 hari; (6). Sedapat mungkin menggunakan pupuk organik, meskipun hal ini bukan merupakan keharusan.

Dari aspek penghematan air irigasi, perbedaan utama SRI yang diterapkan di Jabar dengan SRI di luar Jabar adalah pengaturan air macak-macak selama pertumbuhan tanaman dengan beberapa kali pengeringan. Sehingga sistem pemberian airnya dilakukan secara berkala (*intermittent*) tidak kontinyu seperti pada padi konvensional. SRI di luar Jabar yang dikembangkan oleh Nippon Koei pada proyek DISIMP menggunakan irigasi *intermittent* dengan genangan dangkal sekitar 2-3 cm serta beberapa kali pengeringan, tanpa mengharuskan penggunaan pupuk organik. Sementara SRI di Jawa Barat lebih dikembangkan dengan mengarah kepada penggunaan pupuk organik serta bahan-bahan alami lainnya. Hal tersebut didukung oleh potensi daerah tersebut dalam menyediakan bahan-bahan dasar pembuatan pupuk organik, serta kesadaran petani untuk memanfaatkan potensi lokal yang ada tersebut.

Kajian yang dilakukan oleh Balai Irigasi di Manonjaya ini merupakan kajian kedua, pada musim tanam II tahun 2006. Berdasarkan data hasil panen musim tanam I diketahui bahwa dengan Metode SRI maka petani dapat meningkatkan produksinya hingga 32,3% dibandingkan produksi pada musim tanam sebelumnya (rata-rata produksi 4,72 ton GKG/ha). Sementara penghematan air irigasi pada budidaya padi metoda SRI dibandingkan dengan konvensional terjadi pada proses evaporasi dan perkolasi. Evaporasi dan perkolasi akan jauh berkurang pada kondisi macak-macak dibandingkan dengan kondisi genangan.

Di masa depan diduga bahwa SRI akan berkembang pesat pada masyarakat petani Indonesia. Untuk itu Balai Irigasi mencoba mengkaji sejauh mana efisiensi pemakaian dan efisiensi manfaat air irigasi dalam metoda SRI. Jika berdasarkan hasil kajian tersebut terlihat adanya kenaikan nilai efisiensi pemakaian dan manfaat air yang signifikan terhadap produksi, maka lebih lanjut akan diteliti mengenai hubungan jaringan dan sistim irigasi bagaimana yang diperlukan untuk menunjang metoda SRI.

Pada tahapan tersebut nantinya akan dikaji beberapa kemungkinan implementasi budidaya padi metode SRI dalam suatu daerah irigasi.

Sejak tahun 2005 dilakukan penelitian SRI di rumah kaca dan di lapangan secara partisipatif dengan kelompok tani di desa Margahayu, kecamatan Manonjaya, kabupaten Tasikmalaya (Jabar) bertujuan untuk mengetahui kebutuhan air dan produktivitas padi metoda SRI dan konvensional.

Hasil penelitian, memperlihatkan bahwa¹²:

(1) Kesimpulan Penelitian di rumah kaca (Februari ~ Juli 2006)

- a. Jika cukup tersedia pupuk organik maka metoda SRI-Jabar¹³ dengan kondisi air macak-macak dan pengeringan secara berkala memberikan hasil tertinggi (56,4 g GKG/rumpun) dibandingkan dengan metoda genangan SRI-Gorontalo¹⁴ (37,3 g GKG/rumpun) ataupun konvensional¹⁵ (46,8 g GKG/rumpun).
- b. Jika tidak tersedia pupuk organik, maka pupuk anorganik dapat digunakan dengan irigasi konvensional yakni pengelolaan air genangan 5 cm kontinyu.
- c. Ditinjau dari aspek hemat air, maka metoda SRI-Jabar memperlihatkan nilai EMA tertinggi sebesar 1,27 kg GKG/m³ air, sedangkan pada sistim konvensional baik dengan pupuk organik maupun anorganik nilai EMA sekitar 0,9 kg GKG/m³ air. Dengan kata lain efisiensi manfaat air metoda SRI-Jabar adalah 1,27 kali dari metoda konvensional. Jumlah air yang dikonsumsi hanya untuk Evapotranspirasi saja.
- d. Pada SRI-Jabar dengan pupuk organik, keperluan air untuk ETc (mm/hari) pada setiap tahap pertumbuhan (a) awal, (b) vegetatif, (c) pembungaan, (d) pengisian bulir, (e) pematangan adalah sebesar: (a) 1,6 mm/hari, (b) 3,5 mm/hari, (c) 7,1 mm/hari, (d) 6,6 mm/hari, dan (e) 2,6 mm/hari. Total keperluan ETc dalam semusim 445 mm. Nilai koefisien tanaman¹⁶ (Kc) pada setiap pertumbuhan tanaman: (a) 0,32, (b) 0,71, (c) 1,58, (d) 1,50, (e) 0,59.
- e. Jumlah anakan maksimum yang dicapai pada kondisi rumah kaca lebih kecil daripada kondisi di luar disebabkan oleh intensitas penyinaran matahari di rumah kaca lebih kecil daripada di luar karena atapnya kurang transparant.

(2) Pada MT2 2006 (Juni-Oktober) kondisi air kekurangan.

- a. Walaupun air yang tersedia hanya 27,3% dari yang seharusnya, metode SRI menghasilkan produksi sekitar 89% dari hasil SRI MT₁ (pada kondisi cukup air), EMA rerata 2,20 kg GKG/m³ (pada tingkat produksi 5,10 ton GKG/ha). Pada metoda non-SRI, air yang tersedia sekitar 48% dari yang seharusnya, tetapi produksinya 77,7% dari hasil pada MT₁, EMA¹⁷ nya hanya 1,64 kg

¹² Naskah lengkap dapat dilihat di File Tambahan Topik 2 Kuliah. Rancangan Operasional Irigasi untuk Pengembangan SRI. Paper yang ditulis oleh Dedi Kusnadi Kalsim disajikan pada Seminar KNI-ICID, tanggal 24 November di Bandung

¹³ SRI-Jabar: kompos 5~10 ton/ha, irigasi batas atas 2 cm dan batas bawah kering kapasitas lapang

¹⁴ SRI-Gorontalo: metode SRI yang diterapkan di Gorontalo oleh Nippon Koei, irigasi batas atas genangan (2-3 cm) dan batas bawah kondisi macak-macak. Pupuk anorganik diberikan sebanyak tiga kali menggunakan pupuk Urea, SP-36, dan KCl.

¹⁵ Konvensional: pupuk anorganik, genangan kontinyu 5~10 cm sampai periode pengisian bulir

¹⁶ ETo dihitung dengan metoda Penman-Monteith menggunakan Cropwat ver 4.1.

¹⁷ Dalam perhitungan EMA pada kasus ini, volume air yang digunakan adalah total air irigasi dan air hujan

GKG/m³ air (pada tingkat produksi 4,59 ton GKG/ha). EMA metode SRI adalah 1,34 kali dari metode non-SRI

- (3) Kesimpulan MT₁ 2006/2007 (Desember 2006~April 2007), air cukup.
 - a. Hasil ubinan tertinggi di Petak 1 SRI (jarak tanam 40 x 40 cm) sebesar 7,0 ton GKG/ha dan terendah di Petak 3 Non-SRI (jarak tanam 20 x 20 cm) 6,0 ton GKG/ha. Pada MT₁ ini jumlah hujan yang terjadi selama pertumbuhan sampai panen adalah 1.698 mm, sedangkan jumlah air irigasi 89,5 mm. Irigasi hanya diberikan pada periode 0-20 hst dan sedikit di 21-50 hst, seterusnya dipenuhi oleh air hujan
- (4) Kesimpulan MT₂ 2006/2007 (Mei ~September 2007), air sedikit kurang.
 - a. Hasil ubinan SRI pada petak 1 dan petak 2 masing-masing sebesar 7,5 ton GKG/ha, sedangkan di petak 3 Non-SRI produksinya 6,2 ton GKG/ha. Rerata total air irigasi 376 mm dan hujan yang terjadi 271 mm. Total air irigasi dan hujan antara 460 ~ 812 mm. Hujan efektif 43,4%. Kondisi lengas tanah pada Jika dibandingkan dengan total hujan efektif dan air irigasi, maka nilai EMA (kg GKG/m³ air) untuk petak 1-SRI, petak 2 SRI dan petak 3 Non SRI masing-masing adalah sebesar 1,60, 1,21, dan 1,36.

Penutup

Beberapa pertanyaan:

- (1) Bagaimana menghitung konversi kebutuhan air 1 liter/detik/ha = 8,64 mm/hari?
- (2) Apa tujuan pelumpuran pada pengolahan tanah untuk tanaman padi?
- (3) Kenapa keperluan air pengolahan tanah pada MT1 (musim hujan) lebih besar daripada MT2 (musim kemarau)?
- (4) Apa yang dimaksud sistim golongan? Apa tujuan sistim golongan pada suatu daerah irigasi?
- (5) Apa yang dimaksud dengan “*topping up requirement*”?
- (6) Apa yang dimaksud dengan hujan efektif?
- (7) Apa yang dimaksud dengan hujan efektif menurut ahli irigasi pertanian dan menurut ahli teknik sipil
- (8) Sebutkan beberapa metoda pendugaan hujan efektif untuk pertanian
- (9) Apa yang dimaksud dengan ETo, ETc, Kc?
- (10) Apa yang dimaksud dengan “*water layer replacement*”? Untuk keperluan apa saja?
- (11) Apa yang dimaksud dengan “perkolasi”? bagaimana cara mengukurnya?
- (12) Apa yang dimaksud dengan “seepage”? bagaimana cara mengukurnya?
- (13) Apa maksudnya tinggi muka air di sawah diukur dengan “sloping gage”?
- (14) Kadar air gabah dapat dinyatakan dalam % kadar air “wet basis” dan “dry basis”. Terangkan arti % kadar air dry basis, dan % kadar air wet basis.
- (15) Kadar air tanah (lengas tanah atau soil moisture) umumnya dinyatakan dalam % kadar air dry basis, sedangkan kadar air gabah umumnya dinyatakan dalam % kadar air wet basis. Apa alasannya?
- (16) Jika diketahui hasil ubinan pada waktu panen adalah 5 ton GKP/ha, kadar air gabah kering panen 25%. Berapa besarnya prediksi hasil dalam satuan GKG/ha (kadar air GKG=14% wet basis). Berapa ton beras/ha?
- (17) Jika total kebutuhan air selama satu musim tanam sebesar 1.000 mm, dan produksinya 5 ton GKP/ha dengan kadar air panen 25% (wet basis). Berapa besarnya EMA (Efisiensi Manfaat Air) dalam satuan kg GKG/m³ air? Jika rendemen GKG ke beras adalah 0,70, berapa EMA dalam satuan kg beras/ m³ air?
- (18) Sebutkan beberapa metoda untuk pendugaan ETo dan data iklim apa yang diperlukan untuk masing-masing metoda
- (19) Bagaimana cara menghitung kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi sawah
- (20) Bagaimana caranya menentukan kebutuhan air untuk tanaman dalam pot atau polybag di rumah kaca? Apa satuan kebutuhan air yang tepat digunakan pada kasus ini?

Kunci Jawaban:

- (1) $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter}$, $1 \text{ ha} = 10000 \text{ m}^2$, $1 \text{ hari} = 24 \text{ jam} = 24 \times 60 \times 60 \text{ detik}$
- (2) Pelumpuran bertujuan untuk: (a) meningkatkan daya simpan air, (b) mengurangi perkolasi, (c) menciptakan genangan
- (3) Pengolahan tanah pada MT1 adalah pada awal MH atau akhir MK dimana tanah pada kondisi kering. Pengolahan tanah pada MT2 adalah pada awal MK atau akhir MH dimana tanah pada kondisi basah.

- (4) Sistem golongan adalah pembagian daerah berdasarkan perbedaan awal tanam, biasanya berbeda dalam 2 mingguan. Bertujuan untuk mengurangi kebutuhan puncak pada waktu pengolahan tanah
- (5) Keperluan air irigasi untuk mempertahankan lapisan genangan pada lahan yang sudah diolah tanahnya.
- (6) Bagian hujan yang digunakan untuk keperluan tanaman yakni perkolasi dan ET pada tanaman padi. Untuk tanaman non-padi yang digunakan untuk ET.
- (7) Ahli pertanian definisi hujan efektif seperti pada nomor 6. Untuk ahli teknik sipil hujan efektif adalah bagian hujan berupa run-off yang mengisi simpanan waduk
- (8) Metoda pendugaan hujan efektif dibagi dua, yakni (a) untuk padi sawah, dan (b) untuk non-padi sawah. Lihat bahan ajar.
- (9) (a) ETo: evapotranspirasi tanaman acuan yakni sejenis rumput-tumputan, tinggi 15 cm, menutup tanah dengan sempurna, tumbuh sehat berdaun hijau, tidak kekurangan air. (b) ETc: evapotranspirasi tanaman, $ETc = kc \times ETo$. (c) kc adalah koefisien tanaman tergantung pada jenis dan tahap pertumbuhan tanaman.
- (10) Water layer replacement: Sejumlah air yang diperlukan untuk mengembalikan genangan pada kondisi semula sesudah dilakukan pengeringan pada waktu pemupukan
- (11) Perkolasi adalah rembesan arah vertikal dinyatakan dalam mm/hari, diukur dengan alat lysimeter alas terbuka dan alas tertutup atau dengan perkolasimeter
- (12) Seepage adalah rembesan dari pematang sawah. Biasanya diukur bersama dengan perkolasi dengan alat "sloping gage" atau mistar ukur miring diletakkan di sawah.
- (13) Sloping gage adalah mistar miring, sehingga tinggi muka air genangan dapat dibaca dengan mudah
- (14) % kadar air gabah wet basis = $(\text{berat basah} - \text{berat kering oven}) / \text{berat basah} \times 100\%$. % kadar air gabah dry basis = $(\text{berat basah} - \text{berat kering oven}) / \text{berat kering oven} \times 100\%$
- (15) Kadar air tanah dalam dry basis supaya mudah diperbandingkan dan berlaku umum. Kadar air gabah dinyatakan dalam wet basis untuk mencegah terjadinya kadar air lebih dari 100%.
- (16) $GKG = (100 - ka \text{ GKP}) / (100 - 14) \times \text{berat GKP}$. Jadi 5 ton GKP/ha, kadar air 25% = $(100 - 25) / 86 \times 5 \text{ ton/ha} = 4,36 \text{ ton GKG/ha}$. Asumsi rendemen beras/GKG = 0,70. Produksi = 3,05 ton beras/ha.
- (17) $EMA = 0,436 \text{ kg GKG/m}^3 \text{ air} = 0,305 \text{ kg beras/m}^3 \text{ air}$.
- (18) Tergantung dari ketersediaan data dapat digunakan beberapa metoda: (a) Blaney-Criddle, (b) Thornthwite, (c) Metoda Radiasi, dan (d) Penman-Monteith
- (19) Untuk padi sawah: KAI (Kebutuhan Air Irigasi) = $ET + P - \text{Hujan efektif}$. Untuk non-padi sawah: $KAI = ET - \text{Hujan efektif}$
- (20) Dalam polybag sebaiknya KAT (Kebutuhan Air Tanaman) dinyatakan dalam liter per hari per pot. ET dapat dihitung dengan cara penimbangan pot per hari. Jumlah kg kehilangan berat per hari ekivalen dengan jumlah kg (liter) air yang hilang per hari karena digunakan ET

Daftar Pustaka

1. Ankum, P.,1989. Irrigation Water Requirement: at field, tertiary and main system level. International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering. Delft, The Neherlands.
2. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1984. Crop Water Requirements. FAO. Irrigation and Drainage Paper no.24, Rome.
3. Dastane, N.G., 1974. Effective Rainfall in Irrigated Agriculture. FAO, Irrigation and Drainage Paper No 25. Rome
4. Dedi Kusunadi Kalsim, 2002 (edisi ke 2). Rancangan Irigasi Gravitasi, Drainase dan Infrastruktur. Laboratorium Teknik Tanah dan Air, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
5. Martin Smith, 1991. CROPWAT (ver.5.7): Manual and Guidelines. FAO