

PENERAPAN MODEL SINUS-PERKALIAN PADA ALOKASI SPASIAL AIR IRIGASI DENGAN OPTIMASI PROGRAM DINAMIK

Widandi Soetopo

Instansi : Fakultas Teknik Pengairan Universitas Brawijaya
Alamat : Jl. M.T. Haryono 167 Malang – 65145
E-mail : wid131835@yahoo.co.id

Abstrak

Apabila pada bangunan sadap di sungai tidak tersedia kapasitas tampungan waduk, maka masalah optimasinya menjadi hanya model alokasi air irigasi secara spasial antar petak-petak irigasi. Masalah utamanya sekarang adalah bagaimana untuk suatu musim tanam tertentu membuat tabel akibat untuk masing-masing petak irigasi agar dapat digunakannya model optimasi Program Dinamik. Dalam penelitian ini, digunakan model Sinus-Perkalian sebagai Fungsi Produksi Tanaman Irigasi untuk menghitung nilai-nilai di tabel akibat. Beberapa asumsi dilakukan untuk memungkinkan dilakukannya perhitungan. Hasilnya menunjukkan bahwa model Sinus-Perkalian dengan model optimasi Program Dinamik sudah cukup memuaskan untuk menyelesaikan optimasi alokasi secara spasial.

Kata kunci: model sinus-perkalian, program dinamik, alokasi spasial.

Abstract

If there is no reservoir storage capacity available at the diversion in the river, the the optimization problem is simply become an irrigation spatial allocation model among the irrigation blocks. The main problem is now is how to produce a return table of each of irrigation blocks for a certain cropping season so as to enable the using of the Dynamic Programming optimization model. In this research, a sine-product model is used as the irrigation crop production function for the calculation of values in return tables. Some assumptions are being made to enable the calculations. The results show that the Sine-Product model and the Dynamic Programming optimization model are quite capable to solve the optimization of spatial allocation.

Keywords: sine-product model, dynamic programming, spacial allocation.

PENDAHULUAN

Penggunaan Program Dinamik dalam model optimasi alokasi air irigasi, baik alokasi spasial (alokasi air antar petak) maupun alokasi temporal (penjadwalan/*scheduling* pemberian air) masih tetap merupakan hal yang menarik untuk diteliti. Apabila pada bangunan

pengambilan utama di sungai terdapat kapasitas tampungan waduk, maka permasalahan utama adalah optimasi alokasi air irigasi secara temporal. Sedangkan apabila tidak tersedia tampungan (hanya berupa bendung), maka permasalahan utama adalah optimasi alokasi air irigasi secara spasial. Pada makalah ini dibahas

kasus optimasi alokasi air irigasi secara spasial dengan menggunakan model optimasi Program Dinamik (*Dynamic Programming*), dimana terdapat masalah-masalah yang mendasar sebagai berikut.

- a. Baik debit yang tersedia di bendung maupun debit kebutuhan air di petak-petak irigasi besarnya bervariasi sepanjang musim tanam dan secara umum besarnya tidak proporsional antar kedua seri debit tersebut.
- b. Secara umum nilai hasil produksi irigasi (panen) baru muncul pada akhir musim tanam.
- c. Satu petak irigasi dapat mengandung lebih dari satu macam tanaman (*multicrop*) dengan waktu tanam yang berbeda satu sama lain.

Penelitian ini dipusatkan pada penerapan suatu model fungsi produksi panen (fungsi kinerja irigasi) untuk menghasilkan suatu tabel nilai akibat (*return*) yang memungkinkan untuk diterapkannya model optimasi Program Dinamik untuk alokasi air irigasi secara spasial.

PERMASALAHAN

Pada model optimasi Program Dinamik, Fungsi Tujuan dinyatakan

dalam bentuk Persamaan *Recursive* yang memunculkan suatu nilai tertentu pada tiap tahap (*stage*) dan mempunyai hubungan matematik yang cukup sederhana antar tahap. Untuk alokasi air irigasi secara spasial, tiap tahap diwakili oleh masing-masing petak irigasi. Terhadap setiap petak dilakukanlah alokasi air irigasi yang tersedia di bendung. Pada tahap akhir proses recursive (optimasi) maka nilai Fungsi Tujuan ini merupakan produksi hasil irigasi secara keseluruhan daerah pertanian yang dioptimasi. Karenanya permasalahan dalam penelitian ini dapat diringkas sebagai berikut.

1. Bagaimana cara menghitung tabel nilai akibat (*return*) untuk setiap petak irigasi berdasarkan nilai alokasi air ke petak tersebut.
2. Asumsi apa saja yang dilakukan untuk perhitungan tabel-tabel nilai akibat ini.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut di atas, maka dalam penelitian ini akan diterapkan suatu model fungsi produksi panen sebagai fungsi kinerja irigasi.

TUJUAN PENELITIAN

Jadi tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyusun suatu prosedur penggunaan Fungsi Produksi Panen dalam penyusunan tabel nilai akibat untuk setiap petak irigasi pada setiap musim tanam, sehingga dapat digunakan untuk optimasi dengan model Program Dinamik.

BATASAN PENELITIAN

Dalam penggunaan model optimasi Program Dinamik untuk alokasi air irigasi secara spasial (antar petak), maka dalam penelitian ini dilakukan pembatasan pada hal-hal berikut:

- a. Keputusan (*decision*) adalah besarnya alokasi air ke masing-masing petak irigasi dalam bentuk prosentase dari debit yang tersedia di bendung. Nilai prosentase ini berlaku konstan pada semua tahap (*stage*) selama 1 musim tanam.
- b. Model optimasi Program Dinamik yang digunakan bersifat diskrit, yang berarti variabel Keputusan berbentuk diskrit, yaitu prosentase dari debit yang tersedia di bendung.
- c. Saat awal dan akhir musim tanam di semua petak irigasi dianggap berlangsung secara seragam, sehingga dapat diterapkan satu model Program

Dinamik untuk masing-masing musim tanam.

- d. Ada tiga musim tanam yang ditinjau dalam setahun. Setahun dibagi menjadi 36 periode 10 harian (bulan). Masing-masing musim tanam panjangnya 12 periode.

TINJAUAN PUSTAKA

Pertanian yang teririgasi pada masa mendatang perlu untuk mengadopsi paradigma manajemen yang baru berdasarkan tujuan dari segi ekonomi daripada hanya dari segi produksi panen (English, 2002). Untuk wilayah pertanian dengan lahan terbatas dengan air berlimpah, analisa optimasi dapat dilakukan secara petak demi petak. Tetapi apabila melibatkan banyak petak dan jenis tanaman sedangkan jumlah air terbatas, masalahnya menjadi semakin kompleks. Pada paradigma yang baru, penentuan strategi irigasi optimal perlu menggunakan model-model produksi tanaman (panen) dan teknik-teknik riset operasi (*operation research*).

Apabila terdapat kehilangan air di saluran, banyaknya air irigasi yang teraplikasi menjadi berkurang selaras dengan jaraknya dari sumber (Chakravorty & Roumasset, 1991). Karenanya untuk da-

pat memenuhi kebutuhan air teraplikasi dalam jumlah tertentu, maka air yang dikirim dari sumber harus semakin besar apabila jaraknya semakin panjang. Kehilangan air di saluran irigasi adalah karena rembesan (*seepage*), perkolasi, dan evaporasi.

Gaur et al. (2008) telah meneliti pengaruh dari kekurangan air terhadap distribusi air yang merata dan penggunaan lahan pada suatu proyek irigasi besar di India. Ditemukan bahwa alokasi yang merata dapat dicapai dengan meningkatkan efisiensi distribusi air daripada

$$f_n^*(S_n) = \underset{d_n}{opt.} \{ r_n(S_n, d_n) \circ f_{n+1}^*(S_{n+1}) \} \quad (1)$$

dengan f_n^* adalah Fungsi Tujuan optimal pada tahap ke- n , S_n adalah variabel status pada tahap ke- n , d_n adalah variabel keputusan pada tahap ke- n , dan \circ adalah operator aljabar (operator $+$ atau \times misalnya).

Untuk alokasi air irigasi secara spasial dalam penelitian ini, Fungsi Tujuan dinyatakan dalam nilai moneter (rupiah). Variabel Keputusan berupa nilai diskrit dari prosentasi debit yang tersedia di bendung. Demikian juga halnya dengan Va-

da jaringan saluran irigasi di waktu tahun-tahun normal, dan dengan diversifikasi tanaman dan pengikutsertaan sumber-sumber air alternatif di waktu tahun-tahun kering.

LANDASAN TEORI

Untuk optimasi alokasi air irigasi secara spasial pada setiap musim tanam, digunakan model optimasi Program Dinamik. Fungsi Tujuan daripada model optimasi Program Dinamik diwakili oleh Persamaan umum Recursive (Mays & Tung, 1992) sebagai berikut.

riabel Status. Sementara operator aljabar adalah $+$ (penjumlahan nilai moneter).

Nilai dari Fungsi Tujuan akan dicari (dibaca) pada Tabel Akibat (Return) yang menyatakan berapa besarnya nilai moneter hasil panen pada petak irigasi tertentu akibat alokasi air irigasi tertentu di bendung untuk petak irigasi tersebut (dalam persen). Untuk setiap musim tanam (12 periode 10 harian) akan ada 1 Tabel Akibat yang menyajikan nilai moneter hasil panen dari tiap daerah irigasi untuk setiap nilai alokasi air di bendung

(persen dari debit yang tersedia). Untuk dapat menghitung nilai-nilai dari Tabel Akibat pada penelitian ini digunakan suatu Fungsi Produksi Irigasi dalam bentuk

$$Yr_i = \left[\text{Sin} \left\{ \left([AWr_i - a \cdot \text{Sin}(AWr_i \cdot 2 \cdot \pi)] \times [1 - b \cdot \text{Sin}(AWr_i \cdot \pi)]^c \right)^d \cdot \pi / 2 \right\}^e \right] \quad (2)$$

dengan Yr_i adalah mewakili Y_r (nilai relatif Produksi Tanaman Irigasi) pada tiap periode/tahap (dalam satuan fraksi dari produksi maksimum), dan AWr_i adalah nilai relatif air teraplikasi di petak irigasi pada periode/tahap yang bersangkutan (dalam satuan fraksi dari kebutuhan air untuk mencapai produksi maksimum).

Nilai-nilai dari parameter-parameter $a=0.06$, $b=0.25$, $c=1.3$, $d=0.15$, dan $e=0.99$.

Untuk satu musim tanam, maka Fungsi Produksi Y_r merupakan kombinasi dari Yr_i pada Persaman (3) sebagai berikut.

$$Yr = Yr_1 \times Yr_2 \times Yr_3 \times \dots \times Yr_n \quad (3)$$

dengan n adalah banyaknya periode/tahap selama musim tanam (=12).

METODE PENELITIAN

model Sinus-Perkalian (Soetopo, 2007). Model ini dinyatakan sebagai Persamaan (2) berikut.

Proses penelitian ini dilakukan dalam dua bagian, yaitu (1) membuat (menghitung) Tabel Akibat, dan (2) menerapkan model Program Dinamik untuk optimasi alokasi air irigasi secara spasial antar petak irigasi.

1. Pembuatan Tabel Akibat

Setiap Tabel Akibat mewakili hasil produksi panen (nilai moneter) dari satu musim tanam. Jadi ada 3 Tabel Akibat (dari 3 musim tanam) untuk optimasi alokasi air irigasi secara spasial dalam setahun. Pembuatan setiap Tabel Akibat ini mengikuti langkah-langkah berikut: (1) buat kisaran prosentase alokasi air di bendung, (2) untuk setiap periode hitung debit alokasi air di bendung, (3) hitung debit kebutuhan petak irigasi di bendung dengan memperhitungkan kehilangan di saluran irigasi, (4) hitung AWr_i (nilai relatif air teraplikasi di petak irigasi pada tiap periode), (5) hitung Yr_i (nilai relatif produksi tanaman irigasi di petak irigasi

pada tiap periode), (6)) hitung Yr (nilai relatif produksi tanaman irigasi di petak irigasi pada satu musim tanam), (7) hitung nilai moneter produksi panen pada satu musim tanam, dan masukkan sebagai isi dari Tabel Akibat, (8) untuk kombinasi setiap nilai kisaran prosentase alokasi air di bendung dan setiap petak irigasi maka lakukan perhitungan nilai moneter produksi panen, dimana batas kisaran prosentase alokasi air di bendung adalah apabila nilai moneter produksi panen mencapai maksimum ($Yr = 1$).

Pada penelitian ini, gradasi kisaran prosentase alokasi air irigasi di bendung dibuat sebesar 0.5 persen. Pada tingkat ini, nilai gradasi tersebut dianggap sudah cukup teliti untuk memunculkan hasil penerapan model Sinus-Perkalian dalam menghitung Tabel Akibat.

2. Penerapan Program Dinamik untuk alokasi air secara spasial

Setelah Tabel Akibat selesai, maka diterapkanlah model optimasi Program Dinamik. Sesuai dengan di atas, gradasi Variabel Status adalah 0.5 persen. Fungsi Tujuan/Sasaran adalah memaksimalkan nilai moneter dari produksi tanaman irigasi (panen) di seluruh Daerah Irigasi pada masing-masing musim tanam. Karena ada 3 musim tanam, maka diguna-

kan 3 model optimasi Program Dinamik. Variabel Keputusan adalah besarnya prosentase alokasi air di bangunan sadap (bendung) ke masing-masing petak irigasi.

CONTOH KASUS

Contoh kasus yang digunakan adalah dari perencanaan Waduk Pejok di Kabupaten Bojonegoro – Jawa Timur (P.T. Wiratman & Associates, 2004). Waduk ini direncanakan untuk memenuhi kebutuhan air di Daerah Irigasi Pacal-Kerjo seluas 1989 ha (Nurcahyo, 2005). Untuk contoh kasus pada penelitian ini dilakukan asumsi berikut.

1. Sebagai ganti waduk maka untuk kasus ini hanya ada bendung tanpa kapasitas tampungan operasi waduk.
2. Daerah Irigasi seluas 1989 ha dibagi menjadi 4 petak irigasi. Luas ke-4 petak irigasi disimulasi secara acak.
3. Nilai kehilangan air di saluran irigasi dari bendung ke masing-masing petak irigasi juga di simulasi secara acak.
4. Nilai moneter produksi maksimum tanaman irigasi untuk seluruh Daerah Irigasi diasumsikan sebagai: (a) untuk musim tanam 1 sebesar 14.6 juta rupiah per hektar, (b) untuk musim tanam 2 sebesar 12.9 juta rupiah per hektar,

(c) untuk musim tanam 3 sebesar 14.4 juta rupiah per hektar.

Contoh hasil perhitungan Tabel Akibat untuk musim tanam 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Tabel Akibat Musim Tanam 1

Alokasi Kasi [%]	AKIBAT [juta rp] Untuk Petak Irigasi ke-			
	1	2	3	4
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	152.63	141.83	154.59	166.32
1.0	354.80	333.80	359.70	383.25
1.5	563.25	534.22	571.40	605.01

59.5	7047.34	7744.82	7233.50	6847.80
60.0	7049.33	7747.87	7235.61	6849.10

Nilai-nilai Tabel Akibat ini untuk kondisi hasil simulasi terhadap pembagian luas petak dan efisiensi saluran irigasi (kehilangan air) sebagai berikut.

Tabel 3. Perhitungan Optimasi Program Dinamik di Petak Irigasi 3 - Musim Tanam 1.

Alokasi air awal tahap [%]	Alokasi air akhir tahap [%]						Fungsi Tujuan Optimal dari tahap sebelumnya
	0.0	0.5	47.0	47.5	99.5	100	
0	14669.1	---	---	---	---	---	14669.1
0.5	14819.1	14664.5	---	---	---	---	14664.5
1.0	15019.6	14814.5	---	---	---	---	14659.9

48.0	19768.7	19764.3	12965.4	12760.3	---	---	12605.7
48.5	19715.2	19711.1	13119.5	12907.8	---	---	12548.1
49.0	19661.6	19657.6	13272.2	13061.9	---	---	12490.5

99.0	---	---	7547.4	7544.0	---	---	354.8
99.5	---	---	7348.5	7345.3	152.6	---	152.6
100	---	---	7199.1	7195.9	154.6	0.0	0.0
Maks.	20694.2	20667.3	15287.2	15196.0	154.6	0.0	
Keputusan	32	32.5	64.5	65	100	100	

Tabel 2. Luas Petak & Efisiensi Saluran.

Petak Irigasi Ke:	Pembagian Luas Petak (ha)	Efisiensi Saluran Irigasi
1	485	0.892
2	536	0.860
3	498	0.906
4	470	0.949

Tabel-tabel Akibat selanjutnya digunakan dalam perhitungan optimasi Program Dinamik. Dalam bentuk tabel perhitungan optimasi, contohnya untuk Musim Tanam 1 dan tahap (petak irigasi) ke-3, maka Tabel Optimasi adalah sebagai berikut.

Hasil optimasi Program Dinamik untuk masing-masing musim tanam disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Program Dinamik

Musim Tanam	Petak Ke-	Alokasi [%]	Panen [juta rp]
1	1	24.5	6 018.8
	2	27.5	6 586.9
	3	25.0	6 206.5
	4	23.0	5 912.4
	Total semusim tanam		
2	1	24.0	2 129.0
	2	26.0	2 242.4
	3	25.5	2 278.9
	4	24.5	2 266.9
	Total semusim tanam		
3	1	24.5	4 095.4
	2	26.5	4 385.1
	3	25.0	4 226.4
	4	24.0	4 126.7
	Total semusim tanam		
Total panen setahun			50 475.4

PEMBAHASAN

Dari hasil penyusunan Tabel Nilai Akibat untuk setiap petak irigasi pada setiap musim tanam dengan menggunakan model Sinus-Perkalian sebagai Fungsi Produksi Panen, sehingga dapat digunakan untuk optimasi dengan model Program Dinamik, dapat dikemukakan hal-hal berikut.

1. Pada penelitian ini digunakan prosentase dari debit yang tersedia di bendung sebagai alokasi ke petak-petak irigasi, dimana nilai prosentasi ini berlaku konstan pada semua tahap (*stage*) selama 1 musim tanam. Variasi nilai prosentase ini sangat boleh jadi akan meningkatkan nilai Fungsi Tujuan (berupa panen), tetapi hal ini diluar batas kemampuan dari model Program Dinamik.
2. Walaupun menggunakan gradasi kisaran prosentase alokasi air irigasi di bendung dibuat sebesar 0.5 persen (belum halus), tetapi hasil optimasi Program Dinamik sudah menunjukkan bahwa penggunaan model Sinus-Perkalian adalah layak dalam menghitung nilai-nilai Tabel Akibat.
3. Nilai moneter produksi maksimum tanaman irigasi (panen) diasumsikan sama untuk semua petak pada musim tanam tertentu. Yang membuat nilai-nilai Tabel Akibat bervariasi adalah

perbedaan nilai-nilai efisiensi saluran irigasi.

4. Batas akhir daripada Tabel Akibat tidak perlu harus mencapai nilai maksimum daripada produksi tanaman irigasi. Dan pada kenyataannya nilai maksimum ini umumnya terjadi pada prosentase debit yang berbeda antara petak irigasi yang satu dengan yang lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian terhadap Fungsi Kinerja Irigasi (Fungsi Produksi Panen) untuk optimasi Program Dinamik adalah sebagai berikut.

1. Penerapan model Sinus-Perkalian dengan model optimasi Program Dinamik, dengan keterbatasannya, sudah cukup memuaskan dalam menyelesaikan optimasi alokasi secara spasial, setidaknya pada tingkat optimasi deterministik.
2. Poses perhitungan yang perlu dilakukan secara prinsip cukup sederhana dan mudah untuk dipahami. Hanya saja dimensi perhitungannya yang cenderung menjadi sangat besar sehingga

membutuhkan kapasitas memori yang besar pula dari peralatan komputer.

3. Nilai optimal alokasi air menunjukkan bahwa tidak ada petak irigasi yang diberi air sampai batas maksimum. Hal ini menunjukkan hubungan-hubungan yang memang bersifat tidak linier.

Untuk penelitian-penelitian selanjutnya dapat dikemukakan saran-saran sebagai berikut.

1. Nilai gradasi dari Variabel Status dapat diperhalus untuk meningkatkan ketelitian hasil optimasi. Hal ini dapat dilakukan dengan cara, (1) memperbesar ukuran tabel perhitungan optimasi Program Dinamik, atau (2) memperhalus gradasi secara bertingkat, yaitu mengulangi proses optimasi Program Dinamik disekitar jalur optimal yang telah diperoleh dengan gradasi Variabel Status yang lebih halus, tanpa memperbesar ukuran tabel perhitungan.
2. Meningkatkan hasil optimasi dengan cara simulasi acak berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari optimasi Program Dinamik, yaitu dengan memvariasikan nilai-nilai prosentase debit alokasi ke petak-petak irigasi.

DAFTAR PUSTAKA

Chakravorty, U., & Roumasset, J., 1991, **Efficient Spatial Allocation of Irrigation Water**, American Journal of Agricultural Economics, 73(1), February 1991, 165-173.

English, M.J., Solomon, K.H., & Hoffman, G.J., 2002, **A Paradigm Shift in Irrigation Management**, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 128(5), 267-277.

Gaur, A., Biggs, T.W., Gumma, M.K., Parthasaradhi, G., & Turrall, H., 2008, **Water Scarcity Effects on Equitable Water Distribution and Land Use in a Major Irrigation Project—Case Study in India**, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 134(1), 26-35.

May, L.W. and Tung, Y.K., 1992, **Hydrosystems Engineering and Management**, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

Nurchahyo, E., 2005, **Kajian Pembangunan Waduk Pejok Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Irigasi D.I. Pacal-Kerjo dan Pengendalian Banjir di Kabupaten Bojonegoro**, Skripsi, Fakultas Teknik – Jurusan Pengairan – Universitas Brawijaya, Malang.

P.T. Wiratman & Associates, 2004, **Feasibility Study dan Detail Engineering Design Waduk Pejok di Kabupaten Bojonegoro**, Laporan Akhir – Buku Utama, Surabaya.

Soetopo, W., 2007, **Penerapan Model Sinus-Perkalian Pada Rumusan Fungsi Kinerja Irigasi Untuk**

Optimasi Dengan Program

Dinamik, Jurnal Teknik – Fakultas Teknik Universitas Brawijaya 14(2), 97-103.