OPTIMASI IRIGASI DENGAN PROGRAM DINAMIK DI METRO HILIR

Ir. Abdul azis Hoesein, M.Eng.Sc, Dipl.HE *)
Joko Suparmanto,S.Pd. & Seto Sugianto P.R., ST **)

***)** Dosen Tetap Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
**) Mahasiswa S-2 Teknik Sumberdaya Air Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Abstract

Upstream Kali Metro had 879 ha of irrigation area, It was concluded 2 districts , named as Pakisaji and Kepanjen. Location was at Malang Regency. There was deficit water at dry season. The purpose of this study was to arrange efficient water so that the production result was so optimal due to excisting cropping pattern.

Based on optimized analysis, there was produced the optimal area was 393 ha of rice and 464 ha of second crop for possible year, 330 ha of rice and 527 ha of second crop for normal year, 96 ha of rice and 761 ha of second year for under year, 173 ha of rice and 684 ha of drought year. By using dynamic programming, the benefit for possible year was Rp 7,689,357,989.67, for normal year was Rp 7,846,078,284.11, for under year was Rp 8,430,727,741.74, and for drought year was Rp 8,238,633,915.83. There was increased the benefit as 11,86% for possible year, 13,62% for normal year, 19,61% for under year, and 17,7% for drought year.

Abstrak

Daerah irigasi Kali Metro Hilir yang mempunyai luas baku sawah 879 ha, tersebar di dua kecamatan yaitu Pakisaji dan Kepanjen Kabupaten Malang, pada Daerah Irigasi Metro Hilir sering terjadi kekurangan air pada musim kemarau. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengefisienkan penjatahan air di daerah irigasi Metro Hilir yang paling optimal yang memperoleh air pada musim hujan dan musim kemarau dalam suatu periode musim tanam sesuai dengan pola tata tanam yang tertera pada RTTG, sehingga diperoleh keuntungan maksimum.

Dari hasil analisa diperoleh luas lahan optimal yang dapat terairi pada masing-masing bangunan bagi berdasar kendala debit air irigasi sesudah diterapkan program dinamik mencapai 100% dengan kombinasi luas areal total pada tahun cukup untuk padi 393 ha dan palawija 464 ha, pada tahun normal untuk padi 330 ha dan palawija 527 ha, pada tahun rendah untuk padi 96 ha dan palawija 761 ha, serta pada tahun kering untuk padi 173 ha dan palawija 684 ha. Dengan penerapan program dinamik, keuntungan yang diperoleh dari debit yang dialirkan pada Daerah Irigasi Metro Hilir untuk tahun cukup adalah sebesar Rp 7,689,357,989.67, untuk tahun normal sebesar Rp 7,846,078,284.11, untuk tahun rendah sebesar Rp 8,430,727,741.74, dan untuk tahun kering sebesar Rp 8,238,633,915.83 yaitu terjadi peningkatan keuntungan sebesar 11,86% pada tahun cukup, 13,62% pada tahun normal, 19,61% pada tahun rendah, dan sebesar 17,74% pada tahun kering.

Kata kunci : optimasi, program dinamik, keuntungan maksimum

I. PENDAHULUAN

1.1. Identifikasi Masalah

Daerah irigasi Kali Metro Hilir yang mempunyai luas baku sawah 879 ha, tersebar di dua kecamatan yaitu Pakisaji dan Kepanjen Kabupaten Malang. Daerah irigasi Kali Metro Hilir terdapat satu saluran induk dan beberapa bangunan tersier. Besarnya debit yang yang harus dialirkan perlu dilakukan perhitungan yang cermat, yaitu untuk mendapatkan manfaat yang sebesar-besarnya. Pada Daerah Irigasi Metro Hilir sering terjadi kekurangan air pada musim kemarau sehingga pada studi ini dikaji ulang agar tidak terjadi kekurangan air. Salah satu metode optimasi yang dapat dipakai untuk menghitung besarnya sebaran air yang harus dialirkan di beberapa bangunan bagi pada suatu jaringan irigasi adalah program dinamik.

Program dinamik (*dynamic programming*, disingkat DP) adalah suatu pendekatan untuk mengoptimasi proses-proses keputusan multi tahap. Program dinamik terdiri dari program dinamik deterministik dan program dinamik stokastik. Program dinamik yang digunakan pada studi ini adalah program dinamik stokastik yang menangani situasi dimana sebagian atau semua parameter-parameter dari problem dinyatakan dalam bentuk variabel-variabel acak (Montarcih, 2009: 41).

Salah satu sifat dasar yang menjadi karakteristik problem program dinamik adalah problem dipecah menjadi tahap-tahap (*stages*) dengan variabel-variabel keputusan (*decision variables*) pada setiap tahap (Montarcih, 2009: 51). Hal ini sangat sesuai dengan sistem jaringan irigasi dimana terdapat beberapa bangunan bagi yang berturutan dan saling tergantung antara satu bangunan bagi dengan bangunan bagi yang lain sepanjang saluran pada jaringan irigasi.

1.2. Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada studi ini dititik beratkan pada penerapan program dinamik pada jaringan irigasi sehingga didapat keuntungan yang maksimum, diantaranya sebagai berikut.

1. Yang dijadikan sebagai lokasi studi adalah daerah irigasi Kali Metro Hilir yang mendapatkan air dari Bendung Sonosari yang kemudian didistribusikan pada tiap- tiap bangunan tersier.
2. Pemanfaatan air dari saluran induk Kali Metro Hilir hanya untuk keperluan irigasi.
3. Pola tata tanam yang diterapkan pada daerah irigasi Metro Hilir adalah Padi-Palawija-Tebu, yang ditanam selama tiga musim tanam (MH, MK1, MK2).
4. Awal penanaman untuk tiap jenis tanaman sesuai dengan Jadual Rencana Tata Tanam Global (RTTG) di tiap daerah irigasi dan Penetapan Pemberian Air Musim Hujan dan Musim Kemarau periode tahun 2009-2010.
5. Keuntungan dihitung dalam periode musim tanam.
6. Data debit yang dianalisis terbatas pada data debit intake Bendung Sonosari selama 10 tahun terakhir, yaitu mulai 1999-2008.
7. Tidak membahas masalah AMDAL dan desain konstruksi.
8. Tidak membahas penyebab kehilangan di saluran tetapi hanya menginventarisasikan efisiensi irigasi pada data sekunder.

1.3. Rumusan Masalah

Sesuai dengan batasan masalah, dalam studi ini permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Berapa besar kebutuhan air irigasi untuk daerah irigasi Metro Hilir

dengan luas baku sawah 879 ha berdasarkan pola tata tanam terpilih?
2. Bagaimanakah pola sebaran air yang harus dialirkan pada tiap bangunan bagi sehingga didapat keuntungan maksimum dari debit yang ada, melalui program dinamik?
3. Berapa luas lahan optimal yang dapat dimanfaatkan untuk pertanian?
4. Berapa keuntungan dari debit yang dialirkan pada daerah irigasi Metro Hilir pada tiap bangunan bagi?

1.4. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengefisienkan penjatahan air di daerah irigasi Metro Hilir yang paling optimal yang memperoleh air pada musim hujan dan musim kemarau dalam suatu periode musim tanam sesuai dengan pola tata tanam yang tertera pada RTTG, sehingga diperoleh keuntungan maksimum. Dalam hal ini yang dimaksud adalah air yang tersedia dapat mengairi luas lahan yang ada.

Sedangkan manfaat dari studi ini adalah menerapkan program dinamik untuk mendapatkan gambaran pembagian debit air irigasi yang tersedia pada daerah irigasi Metro Hilir pada tiap bangunan baginya. Selain itu adalah agar bisa dijadikan bahan evaluasi dalam pelaksanaan pembagian air irigasi di daerah irigasi Metro Hilir.

II. Kajian Pustaka

Program dinamik (*dynamic programming*) adalah suatu kumpulan teknik-teknik programisasi matematis yang digunakan untuk pengambilan keputusan yang terdiri dari banyak tahap (*multistage*). Suatu masalah pengambilan keputusan yang multistage dipisah-pisahkan menjadi suatu seri masalah (atau submasalah) yang berurutan dan saling berhubungan. Programisasi dinamik dikembangkan pertama kali oleh Richard E. Bellman pada tahun 1957 (Subagyo, 1984: 163).

Tujuan utama model ini adalah untuk mempermudah penyelesaian persoalan optimasi yang mempunyai karakteristik tertentu. Ide dasar program dinamik ini adalah membagi persoalan menjadi beberapa bagian yang lebih kecil sehingga memudahkan penyelesaiannya. Akan tetapi, berbeda dengan program linier, pada persoalan program dinamik ini tidak ada formulasi matematis yang standar. Karena itu, persamaan-persamaan yang terpilih untuk digunakan harus dikembangkan agar dapat memenuhi masing-masing situasi yang dihadapi. Dengan demikian, maka antara persoalan yang satu dengan persoalan lainnya dapat mempunyai struktur penyelesaian persoalan yang berbeda (Dimyati, 1992: 279)

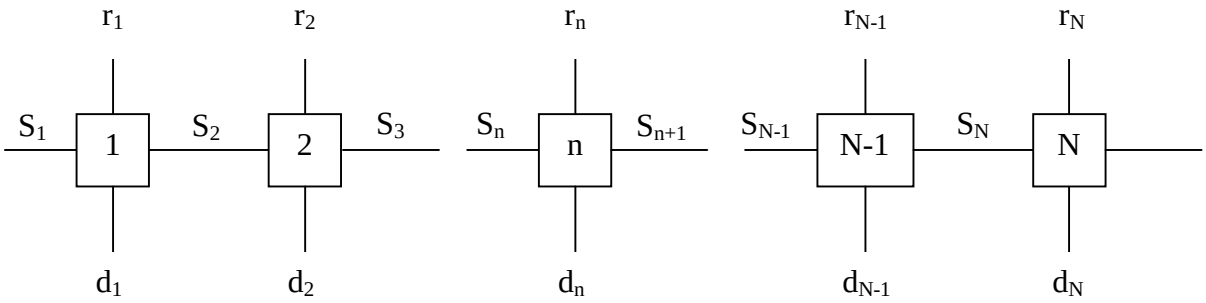
2.1. Konsep Dasar Program Dinamik

Program dinamik yang digunakan dalam studi ini adalah program dinamik stokastik. Program dinamik stokastik merupakan program dinamik dengan suatu distribusi probabilitas untuk ketetapan dalam tahap-tahap keputusan yang berurutan (Subagyo, 1984: 181). Program dinamik stokastik menangani situasi dimana sebagian atau semua parameter-parameter dari problem dinyatakan dalam bentuk variabel-variabel acak. Situasi demikian kelihatannya memang merupakan realitas dimana-mana, termasuk juga di dalam sistem keairan (*hydrosystem*), dimana adalah sulit untuk menentukan nilai-nilai dari parameter-parameter secara eksak. Cara analisa sensitivitas memang dapat digunakan untuk mempelajari efek dari perubahan-perubahan nilai-nilai dari parameter-parameter problem pada solusi optimal (Montarcih, 2009: 41). Analisa pada studi ini memakai program dinamik karena beberapa alasan sebagai berikut:

1. pada persoalan program dinamik ini tidak ada formulasi matematis yang

standar sehingga persamaan-persamaan yang terpilih untuk digunakan disesuaikan dengan masing-masing situasi yang dihadapi,

2. optimasi yang dilakukan adalah pada setiap bangunan bagi, sadap, dan bagi sadap dimana di setiap bangunan itu lahannya ditanami tanaman yang tidak sejenis sehingga variabelnya bersifat acak.



Gambar 1. Diagram Urutan Problem Dinamik Serial

2.2. Elemen-Elemen Model Program Dinamik

Mengacu Gambar 2.1 di atas, elemen-elemen model program dinamik adalah sebagai berikut (Montarcih, 2009: 49).

a. Tahap/*Stage* (n)
   Merupakan bagian dari problem dimana keputusan (decision) diambil. Jika suatu problem dapat dipecah menjadi N subproblem, maka ada N tahap dalam formulasi DP tersebut. Tahapan pada *multi stage problem* yang dimaksudkan dalam studi ini adalah tahapan tempat yaitu antara bangunan bagi, sadap, dan bagi sadap yang satu dengan yang lain pada Induk Saluran Kali Metro Hilir.

b. Variabel Keputusan/*Decision Variable* (d_n)
   Merupakan besaran dari keputusan (decision) yang diambil pada setiap tahap. Variabel keputusan dalam studi ini adalah besarnya debit yang dialokasikan pada tiap bangunan irigasi serta keuntungan bersih yang diperoleh. Keputusan yang diambil pada setiap tahap akan ditransformasikan dari keputusan yang bersangkutan ke keputusan berikutnya, sehingga didapat optimum secara keseluruhan.

c. Variabel Status/*State Variable* (S_n)
   Merupakan variabel yang mewakili/menjelaskan status (*state*) dari sistem yang berhubungan dengan tahap ke-n. Fungsi dari variabel status adalah untuk menghubungkan tahap-tahap secara berurutan sedemikian sehingga, apabila setiap tahap dioptimasi secara terpisah, maka keputusan yang dihasilkan adalah layak (*feasible*) untuk seluruh problem. Lebih lanjut, keputusan-keputusan optimal dapat diambil untuk tahap tersisa tanpa harus melakukan cek pada akibat dari keputusan berikutnya terhadap keputusan yang telah diambil terdahulu. Untuk tahap ke-n, variabel status di belakangnya (S_n) disebut sebagai variabel status input, sedangkan variabel status di depannya (S_{n+1}) disebut sebagai variabel status output. Dalam studi ini, variabel status berupa debit yang ada atau tersedia terus menerus pada

pintu pengambilan (*intake*) Bendung Sonosari.

d. Akibat Tahap/*Stage Return* (r_n)
Merupakan ukuran skalar dari hasil keputusan yang diambil pada setiap tahap. Akibat tahap (*stage return*) ini merupakan fungsi dari variabel-variabel S_n (status input), S_{n+1} (*state output*), dan d_n (keputusan), sehingga dapat dinyatakan sebagai fungsi berikut.

$$r_n = r(S_n, S_{n+1}, d_n) \quad (2\text{-}1)$$

Akibat tahap dalam studi ini merupakan keuntungan sebagai fungsi debit pada suatu kondisi debit tertentu.

e. Transformasi Tahap/*Stage Transformation* atau Transisi Status/*State Transition* (t_n)
Merupakan suatu transformasi nilai tunggal yang menyatakan hubungan antara variabel-variabel S_n (status input), S_{n+1} (status output), dan d_n (keputusan), yang dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$S_{n+1} = t_n(S_n, d_n) \quad (2\text{-}2)$$

Stage Transformation dalam studi ini adalah perubahan air tersedia sampai air yang terdistribusikan pada tiap bangunan irigasi pada Induk Saluran Metro Hilir.

2.3. Prosedur Perhitungan

Teknik perhitungan programisasi dinamik terutama didasarkan pada prinsip optimasi recursive (bersifat pengulangan) yang diketahui sebagai prinsip optimalisasi (*principle of optimality*). Prinsip ini mengandung arti bahwa bila dibuat keputusan multistage mulai pada tahap tertentu, kebijakan optimal untuk tahap-tahap selanjutnya tergantung pada ketetapan tahap permulaan tanpa menghiraukan bagaimana diperoleh suatu ketetapan tertentu tersebut (Subagyo, 1984: 165).

III. METODOLOGI

3.1. Lokasi Studi

Kecamatan Kepanjen berada pada ketinggian ± 335 m diatas permukaan air laut dengan letak daerah pada koordinat 112°17'11" sampai 122°57'50" dan pada 7°44'56" sampai 8°26'36" Lintang Selatan. Kecamatan Kepanjen dan wilayah sekitarnya mempunyai iklim tropis yakni musim hujan dan kemarau dengan temperatur udara rata-rata bulanan berkisar antara 23,71° sampai 24,04°*C* dan curah hujan harian berkisar antara 0 sampai 174 mm per hari.

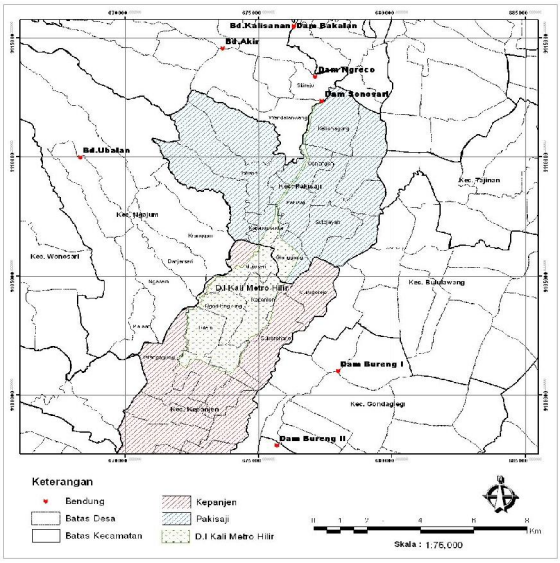
Secara administratif Daerah Irigasi Metro Hilir berada di bawah lingkup kerja Unit Pelaksana Teknis Daerah (UPTD) Kepanjen dan mendapatkan suplai air irigasi dari Bendung Sonosari yang terletak di Sungai Metro dan di hilir pengambilan saluran Sonosari ada sumber penunjang dari Kali Sukun. Daerah Irigasi Kali Metro Hilir terdiri dari 1 jaringan irigasi dengan luas baku sawah sebesar 879 Ha.

3.2. Tahapan Perhitungan Program Dinamik

Prosedur penyelesaian untuk permasalahan optimasi alokasi air dengan program dinamik pada Daerah Irigasi Kali Metro Hilir dilakukan sebagai berikut:

1. Menghitung besarnya volume air yang dibutuhkan untuk masing-masing bangunan bagi, sadap, dan bagi sadap yang akan dikaji.
2. Menghitung besar volume air yang tersedia dari debit andalan yang dialirkan secara terus menerus.
3. Dari volume yang dibutuhkan dan volume yang tersedia, dapat dihitung luas lahan yang terairi oleh debit yang ada pada tiap periode tanam pada masing-masing bangunan bagi, sadap, dan bagi sadap.

4. Menentukan keuntungan sebagai fungsi debit yang merupakan keuntungan bersih dari debit yang dialirkan pada tiap bangunan bagi, sadap, dan bagi sadap.
5. Membuat tabel yang memuat unsur-unsur:
   a. Debit awal (tersedia) untuk dialokasikan
   b. Debit akhir (setelah debit tersedia dialokasikan).
   c. Besar debit yang dialokasikan untuk tahap tersebut (yaitu debit awal sampai debit akhir).
   d. Keuntungan dari besarnya debit yang dialokasikan untuk masing-masing tahap.
   e. Didapatkan keuntungan maksimum dari masing-masing tahap.
   f. Didapatkan variabel keputusan yaitu debit guna maksimum yang dialirkan pada tiap bangunan bagi, sadap, dan bagi sadap.
6. Hasil dari tahap pertama ditransformasikan ke tahap berikutnya, demikian sampai akhir.
7. Keuntungan maksimum pada tahap terakhir merupakan kebijakan total secara keseluruhan.



Gambar 2. Peta Daerah studi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum pola tata tanam di daerah studi adalah padi-palawija-tebu dengan luas tanam tertentu dengan tujuan untuk menyesuaikan ketersediaan debit air yang ada. Apabila seluruh baku sawah mempunyai pola tata tanam yang sama, maka debit kebutuhan pada tahun tertentu kurang dari debit yang tersedia. Pada studi ini terjadi kekurangan pada tahun cukup, normal, rendah, dan tahun kering pada saat MK 2.

Salah satu alternatif pemecahan masalah adalah dengan menggunakan debit yang tersedia di saluran secara optimal. Agar debit yang tersedia dapat digunakan dengan optimal, maka perlu mengubah kombinasi luas tanaman dan jenis tanaman pada saat musim tanam MK 2. Dengan cara seperti ini, diharapkan mendapatkan luasan optimum setiap jenis tanaman untuk masing–masing periode tanam.Pada studi ini pola tata tanam yang akan dioptimasikan adalah:

- Padi MK 2 pada saat tahun cukup
- Palawija MK 2 pada saat tahun cukup
- Padi MK 2 pada saat tahun normal
- Palawija MK 2 pada saat tahun normal
- Padi MK 2 pada saat tahun rendah
- Palawija MK 2 pada saat tahun rendah
- Padi MK 2 pada saat tahun kering
- Palawija MK 2 pada saat tahun kering

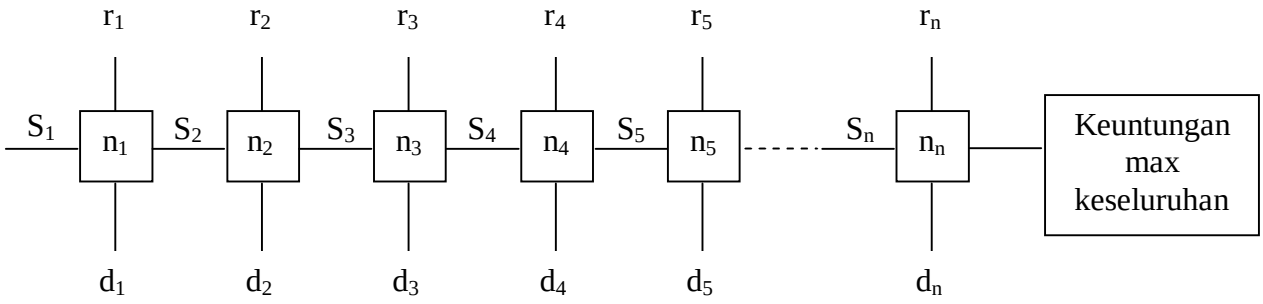
4.1. Optimasi dengan Program Dinamik

4.1.1. Dasar Program Dinamik

Dalam menerapkan program dinamik dalam optimasi air irigasi pada Daerah Irigasi Metro Hilir, perlu diketahui terlebih dahulu yang menjadi dasar perhitungannya. Berdasarkan perhitungan-perhitungan sebelumnya

maka dapat diketahui dasar perhitungan menggunakan program dinamik adalah sebagai berikut:

1. Luas lahan yang akan dikaji adalah sebesar 879 ha dengan pola tanam Padi-Palawija-Tebu yang ditanam setiap periode tanam MH, MK 1, dan MK 2. Akan tetapi, berdasarkan pada hasil perhitungan neraca air didapatkan bahwa optimasi terbatas pada periode tanam MK 2 untuk tanaman Padi dan Palawija dengan luasan sebesar 857 ha, karena sebesar 22 ha lahan ditanami tebu yang masa tanamnya selama 1 tahun.
2. Bangunan bagi yang dikaji sebanyak 10 bangunan yaitu B.S.1, B.S.2, B.S.3, B.S.4, B.S.5, B.S.6, B.S.7, B.S.8, B.S.9, B.S.10.
3. Bila debit yang diberikan untuk tiap bangunan bagi yang dikaji sudah mampu memenuhi luas maksimal yang ada, maka untuk penjatahan debit selebihnya akan menghasilkan keuntungan yang sama dengan yang dihasilkan saat luas lahan maksimal.
4. Debit yang tersedia merupakan debit tersedia maksimal dalam satu periode tanam MK 2 dan harus dialokasikan seluruhnya untuk semua bangunan tersier yang dikaji. Pada studi ini periode tanam MK 2 yang akan dioptimasi adalah pada saat tahun cukup (Q andalan 26%), normal (Q andalan 51%), rendah (Q andalan 75%), dan tahun kering (Q andalan 97%).
5. *State variable* merupakan debit air yang tersedia dengan grid 0,02 m^3/detik.
6. Hasil optimasi berupa keuntungan bersih dari luas lahan yang mampu diairi bagi masing-masing tanaman.



Gambar 3. Bagan sistem tahapan program dinamik pada Daerah Irigasi Metro Hilir

Keterangan:

$n_1, n_2, n_3, ..., n_n$ = *Stage* yaitu B.S.1, B.S.2, B.S.3, B.S.4, B.S.5, B.S.6, B.S.7, B.S.8, B.S.9, B.S.10.

$S_1, S_2, S_3, ..., S_n$ = *State variable* yaitu debit andalan maksimal dalam satu periode tanam MK 2 untuk debit *inflow* dan debit *outflow* pada penerapan program dinamik.

$r_1, r_2, r_3, ..., r_n$ = *Stage return* yaitu keuntungan fungsi debit selama satu periode tanam MK 2.

$d_1, d_2, d_3, ..., d_n$ = *Decision variable* yaitu debit guna optimum untuk tiap bangunan bagi.

4.1.2. Optimasi Alokasi Air

Sistem tahapan program dinamik dalam studi ini menggunakan metode *forward recursive*, yaitu dimulai dari tahap awal bergerak menuju tahap akhir. Tahapan tersebut dimulai dari B.S.1 – B.S.2- B.S.3 – B.S.4 - B.S.5 – B.S.6 – B.S.7 – B.S.8 – B.S.9 – B.S.10. Lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan sistem tahapan program dinamik pada Gambar 3.

Contoh perhitungan optimasi alokasi air dengan menggunakan program dinamik pada tahun cukup sebagai berikut:

1. Pada tahap 1 di B.S.1 dengan debit *outflow* sebesar 0 m^3/det, maka debit guna adalah 1,12 m^3/det sehingga diperoleh keuntungan irigasi sebagai fungsi debit sebesar Rp 1.046.571.500,00, debit *outflow* sebesar 0,02 m^3/det, maka debit guna adalah 1,10 m^3/det diperoleh keuntungan irigasi sebagai fungsi debit sebesar Rp 1.046.571.500,00, dan seterusnya hingga debit *outflow* sama dengan 1,12 m^3/det.
2. Dari keseluruhan debit *outflow* dan debit guna, diperoleh keuntungan maksimum dari tahap 1 pada B.S.1.
3. Nilai keuntungan maksimum dari tahap 1 tersebut lalu ditransformasikan ke tahap selanjutnya yaitu untuk B.S.2.
   Pada tahap ke-2, debit guna 0 m^3/det, keuntungan yang didapat adalah sama dengan keuntungan maksimum pada tahap 1, sedangkan untuk debit guna selanjutnya, nilai keuntungan maksimum pada tahap 1 ditambahkan dengan keuntungan irigasi sebagai fungsi debit pada B.S.2 (Lampiran IV-41) yang menghasilkan nilai keuntungan maksimum akhir tahap.
   Contoh:
   a. Debit guna 0,02 m^3/det
      Keuntungan maksimum = 1.046.571.500 + 561.884.166,88 = 1.608.455.666,88
   b. Debit guna 0,04 m^3/det
      Keuntunganmaksimum = 1.046.571.500 + 697.917.873,20 = 1.744.489.373,20

   Demikian seterusnya hingga debit guna 1,12 m^3/det.
4. Dari semua keuntungan maksimum akhir tahap untuk satu *state* dipilih keuntungan yang maksimum dan debit *inflow* maksimum akhir tahap yang berhubungan dengan nilai keuntungan maksimum.
5. Jika semua *cell* pada tabel optimasi telah terisi, lakukan kembali prosedur yang sama (dimulai dari langkah nomor 2) untuk tahap berikutnya hingga tahap akhir.

4.2. Pembahasan

Dari keseluruhan hasil optimasi menggunakan program dinamik pada Daerah Irigasi Metro Hilir, jika dilakukan pelacakan balik akan didapatkan jalur optimal berupa pengalokasian debit yang menyebabkan keuntungan produksi maksimal. Jalur optimal yang didapat pada bangunan bagi B.S.1 sampai dengan B.S.10 adalah:

a) Tahun Cukup: 0,12 m^3/det - 0,22 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,4 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,08 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,06 m^3/det - 0,06 m^3/det - 0,06 m^3/det
b) Tahun Normal: 0,05 m^3/det - 0,24 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,42 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,06 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,06 m^3/det - 0,06 m^3/det
c) Tahun Rendah: 0,06 m^3/det - 0,22 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,24 m^3/det - 0,02 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,02 m^3/det - 0,02 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,04 m^3/det

d) Tahun Kering: 0,07 m^3/det - 0,24 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,32 m^3/det - 0,02 m^3/det - 0,04 m^3/det - 0,02 m^3/det - 0,02 m^3/det - 0,04 m^3/det – 0,04 m^3/det

Dari perhitungan optimasi alokasi air irigasi dengan program dinamik dapat diketahui bahwa debit yang dapat dialirkan pada B.S.1 untuk tahun cukup (Q andalan 26%) adalah sebesar 0,12 m^3/det sedangkan luas lahan maksimal yang diairi oleh B.S.1 sebesar 59 ha sudah dapat tercapai pada saat debit sebesar 0,08 m^3/det yang artinya keuntungan sudah mencapai maksimal pada saat debit sebesar 0,08 m^3/det, maka untuk penjatahan debit selebihnya akan menghasilkan keuntungan yang sama dengan yang dihasilkan saat luas lahan maksimal yaitu saat debit 0,08 m^3/det. Sehingga terjadi kelebihan pasokan air pada saat debit air cukup (Q andalan 26%) sebesar 0,04 m^3/det yang dalam studi ini, kelebihan air tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengairi daerah irigasi di bawahnya yang masih termasuk dalam pelayanan dari Bendung Sonosari.

Luas lahan optimal yang dapat terairi pada masing-masing bangunan bagi berdasar kendala debit air irigasi sesudah diterapkan program dinamik mencapai 100% dengan kombinasi luas areal total pada tahun cukup untuk padi 393 ha dan palawija 464 ha, pada tahun normal untuk padi 330 ha dan palawija 527 ha, pada tahun rendah untuk padi 96 ha dan palawija 761 ha, serta pada tahun kering untuk padi 173 ha dan palawija 684 ha. Luasan padi setelah optimasi lebih kecil dikarenakan, kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi lebih besar dibandingkan palawija sementara debit guna sebelum optimasi jauh lebih kecil dibandingkan setelah optimasi, sehingga palawija yang ditanam lebih besar dibandingkan padi. Hal ini dimaksudkan agar air yang tersedia dapat mengairi luas lahan yang ada dan menghasilkan keuntungan yang maksimum.

Keuntungan terbesar didapatkan pada saat nilai debit tertinggi seperti dapat dilihat pada Tabel 4.64 untuk tahun cukup, Tabel 4.65 untuk tahun normal, Tabel 4.66 untuk tahun rendah, dan Tabel 4.67 untuk tahun kering. Pada tahun cukup debit tertinggi adalah 0,4 m^3/det, pada tahun normal debit tertinggi adalah 0,42 m^3/det, pada tahun rendah debit tertinggi adalah 0,24 m^3/det, dan pada tahun kering debit tertinggi adalah 0,32 m^3/det yang menghasilkan keuntungan total terbesar yaitu pada tahun cukup sebesar Rp 2,983,211,695.14, pada tahun normal sebesar Rp 2,951,981,279.83, pada tahun rendah sebesar Rp 3,297,653,000.00, dan pada tahun kering sebesar Rp 3,170,758,308.79.

Sedangkan untuk keuntungan tebu tidak ditampilkan karena dalam studi ini tidak dilakukan analisa optimasi pada tanaman tebu karena tebu ditanam selama 1 tahun periode tanam, sementara dalam studi ini yang mengalami optimasi terbatas hanya pada saat periode tanam MK 2.

Dari hasil perhitungan dapat dibandingkan keuntungan produksi sebelum dan sesudah optimasi. Untuk sebelum optimasi keuntungan total yang dihasilkan dari tanaman padi dan palawija pada tahun cukup sebesar Rp 6,777,176,000.00 dan keuntungan maksimal setelah optimasi yang dapat dicapai adalah sebesar Rp 7,689,357,989.67, untuk tahun normal sebelum optimasi sebesar Rp 6,777,176,000.00 dan setelah optimasi adalah sebesar Rp 7,846,078,284.11, untuk tahun rendah sebelum optimasi Rp 6,777,176,000.00 dan setelah optimasi adalah sebesar Rp 8,430,727,741.74

serta untuk tahun kering sebelum optimasi sebesar Rp 6,777,176,000.00 dan setelah optimasi adalah sebesar Rp 8,238,633,915.83.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa pada pembahasan sebelumnya maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola tata tanam rencana yang masih dapat dipenuhi oleh debit andalan sehingga didapatkan kebutuhan air irigasi yang kurang atau sama dengan air irigasi yang tersedia yaitu padi/palawija/tebu - padi/palawija/tebu - padi/palawija/tebu. Untuk periode tanam MH dan MK 1 pada saat debit air cukup (Q andalan 26%), normal (Q andalan 51%), rendah (Q andalan 75%), dan kering (Q andalan 97%) kebutuhan air irigasi sudah dapat terpenuhi dengan debit yang tersedia, sedangkan untuk periode tanam MK 2 pada saat debit air cukup, normal, rendah, dan kering karena kebutuhan air irigasi belum terpenuhi maka dilakukan optimasi dengan program dinamik sehingga diperoleh kebutuhan air irigasi maksimal dan kebutuhan air irigasi rata-rata sebagai berikut:

Debit	Ckp	Nrml	Rndah	Kering
Keb. air irigasi maksimal (m^3/det)	0,40	0,42	0,24	0,32
Keb. air irigasi rata[2] (m^3/det)	0,11	0,11	0,07	0,09

2. Dengan penerapan program dinamik, distribusi debit air irigasi optimum yang harus dialirkan pada masing-masing bangunan bagi adalah:
   - Pada saat debit air cukup (Q andalan 26%)

B.S	B.S.1	B.S.2	B.S.3	B.S.4	B.S.5
Q Guna (m^3/det)	0,12	0,22	0,04	0,40	0,04
B.S	B.S.6	B.S.7	B.S.8	B.S.9	B.S.10
Q Guna (m^3/det)	0,08	0,04	0,06	0,06	0,06

   - Pada saat debit air normal (Q andalan 51%)

B.S	B.S.1	B.S.2	B.S.3	B.S.4	B.S.5
Q Guna (m^3/det)	0,05	0,24	0,04	0,42	0,04
B.S	B.S.6	B.S.7	B.S.8	B.S.9	B.S.10
Q Guna (m^3/det)	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06

   - Pada saat debit air rendah (Q andalan 75%)

B.S	B.S.1	B.S.2	B.S.3	B.S.4	B.S.5
Q Guna (m^3/det)	0,06	0,22	0,04	0,24	0,02
B.S	B.S.6	B.S.7	B.S.8	B.S.9	B.S.10
Q Guna (m^3/det)	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04

   - Pada saat debit air kering (Q andalan 97%)

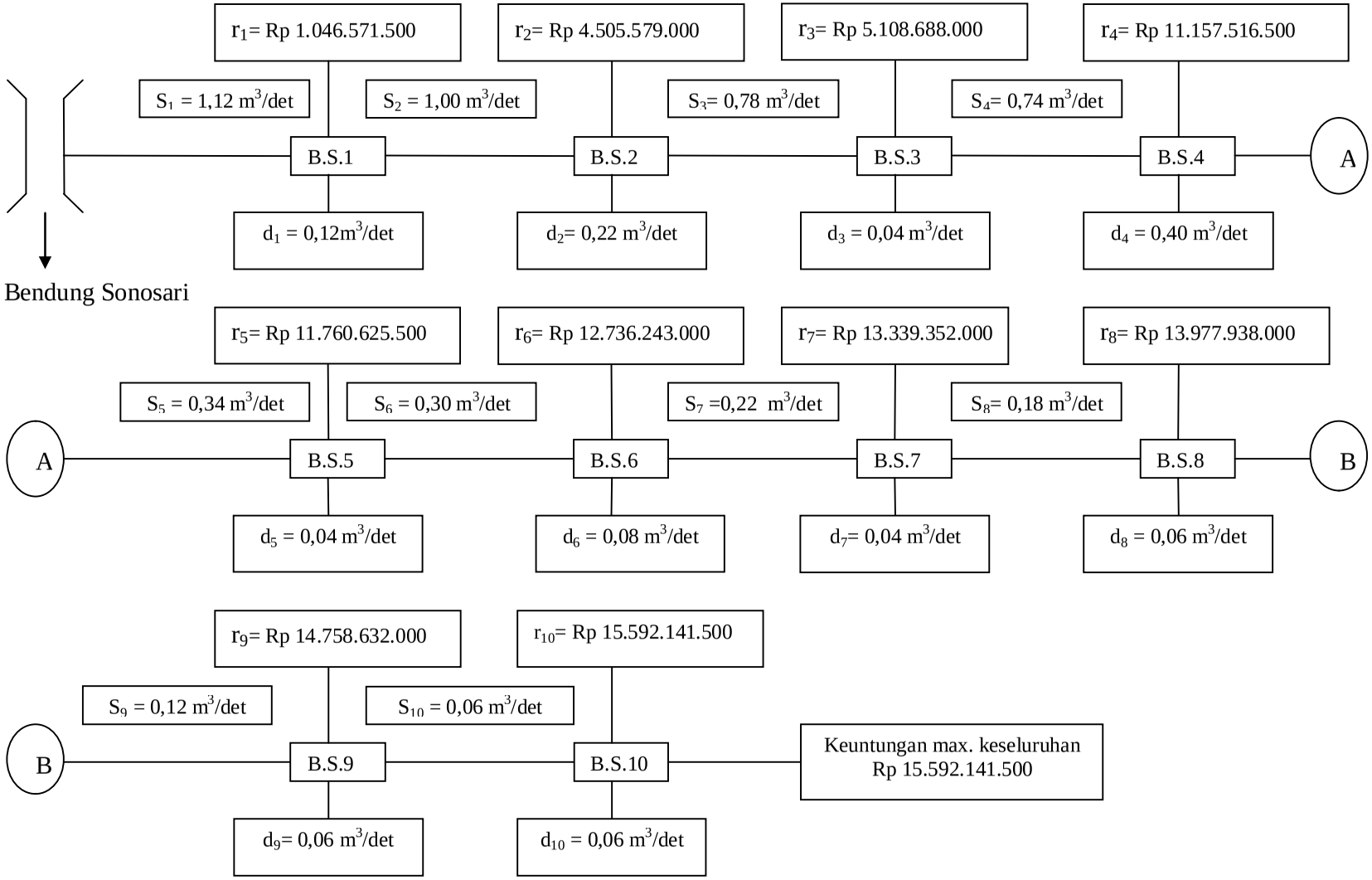
B.S	B.S.1	B.S.2	B.S.3	B.S.4	B.S.5
Q Guna (m^3/det)	0,07	0,24	0,04	0,32	0,02
B.S	B.S.6	B.S.7	B.S.8	B.S.9	B.S.10
Q Guna (m^3/det)	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04

3. Luas lahan optimal yang dapat terairi pada masing-masing bangunan bagi berdasar kendala debit air irigasi sesudah diterapkan program dinamik mencapai 100% dengan kombinasi luas areal total pada tahun cukup untuk padi 393 ha dan palawija 464 ha, pada tahun normal untuk padi 330 ha dan palawija 527 ha, pada tahun rendah untuk padi 96 ha dan palawija 761 ha, serta pada tahun kering untuk padi 173 ha dan palawija 684 ha.
4. Dengan penerapan program dinamik, keuntungan yang diperoleh dari debit yang dialirkan pada Daerah Irigasi Metro Hilir untuk tahun cukup adalah sebesar Rp 7,689,357,989.67,

untuk tahun normal sebesar Rp 7,846,078,284.11, untuk tahun rendah sebesar Rp 8,430,727,741.74, dan untuk tahun kering sebesar Rp 8,238,633,915.83 yaitu terjadi peningkatan keuntungan sebesar 11,86% pada tahun cukup, 13,62% pada tahun normal, 19,61% pada tahun rendah, dan sebesar 17,74% pada tahun kering.

DAFTAR PUSTAKA

1. Montarcih L., Lily. 2010. Optimization of Water Needs at Kepanjen Dam and Sengguruh Dam, East Java, Indonesia. International Journal of Academic Research, 2(5): 216-220
2. Loucks, P, Daniel, 1982. Water Resources System Planning And Analysis, New Jersey: Prentice-Hall, 559 pages.



Gambar sistem tahapan program dinamik untuk debit air cukup (Q andalan 26%)