

## PROSES MODEL PENJADWALAN PROYEK DENGAN ALGORITME GENETIKA

I Gusti Agung Adnyana Putera

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar

E-mail : adnyanaputera@civil.unud.ac.id

**Abstrak:** Dalam praktik pelaksanaan proyek, sumberdaya yang tersedia untuk kegiatan konstruksi sering kali terbatas ketersediaannya. Metode jalur kritis yang sering digunakan dalam industri jasa konstruksi untuk merencanakan dan mengontrol pelaksanaan konstruksi kurang mendukung penyelesaian masalah riil dalam pelaksanaan konstruksi karena perencanaannya sering menggunakan asumsi tidak ada keterbatasan sumberdaya. Untuk penjadwalan yang mempertimbangkan keterbatasan sumberdaya, perencana harus menyertakan alokasi sumberdaya untuk memperoleh jadwal yang dapat diterapkan di lapangan. Durasi dan urutan pelaksanaan kegiatan perlu disesuaikan dengan mempertimbangkan sumberdaya yang tersedia pada periode tertentu. Makalah ini menyajikan proses model untuk penjadwalan proyek menerapkan teknik pencarian algoritme genetika untuk menyelesaikan masalah multikriteria dalam penjadwalan proyek untuk memperoleh jadwal proyek yang optimal. Algoritme genetika dapat menyelesaikan masalah kombinatorial dalam penjadwalan proyek dan mampu memberikan penyelesaian terintegrasi masalah penjadwalan proyek seperti: penjadwalan, perataan sumberdaya, penghalusan perataan sumberdaya dengan mempertimbangkan multikriteria dan multisyarat untuk penjadwalan proyek.

Kata kunci: algoritme genetika, perencanaan proyek, penjadwalan proyek, model proses, optimasi jadwal.

## A PROCESS MODEL FOR PROJECT PLANNING USING GENETIC ALGORITHM

**Abstract:** In the real construction world, resources for construction activities are usually limited. The critical path method (CPM) that has been intensively used in construction industry for planning and controlling of construction, is not feasible for this problem because of the unlimited resources assumption. To deal with the limited resources, construction planner must include resources allocation in order to find out an applicable project planning. The activity's duration and their sequences may need to be adjusted by considering the available resources at the considered time. This paper presents a process model for project planning using the genetic algorithm searching technique to solve the multicriteria problem in construction planning in order to find out an optimal construction project planning. The genetic algorithm can solve the combinatorial problems of project planning and give an integrated planning solution, such as, project planning, resources levelling, smoothing by considering multi-criteria and multi-constraints for project planning.

Keywords: Genetic algorithms, project planning and scheduling, process model, optimisation.

## PENDAHULUAN

Penjadwalan suatu proyek konstruksi bertujuan untuk menggambarkan rencana perjalanan proyek dalam waktu agar sasaran yang ditetapkan dapat dicapai secara efektif dan efisien berdasarkan sumber yang ada yaitu : waktu, biaya, material, peralatan dan sumber daya manusia. Dalam praktik konstruksi, sering kali proyek dilaksanakan dengan sumberdaya yang terbatas. Model-model yang ada sering kali tidak mendukung penyelesaian masalah praktis penjadwal proyek seperti penjadwalan proyek dengan sumberdaya yang terbatas baik karena tidak tersedianya sumberdaya maupun karena alasan efisiensi dan praktis. Penjadwalan proyek dengan sumberdaya yang terbatas merupakan permasalahan yang sangat kompleks sehingga banyak waktu dan perhatian yang harus dicurahkan untuk menyusun jadwal proyek yang baik dan dapat dilaksanakan.

Pelaksana proyek selalu berusaha mencari cara terbaik untuk mencapai sasaran proyek yang memiliki berbagai kriteria yang sering saling bertentangan. Misalnya, pemilik mengharapkan tujuan proyeknya dapat dicapai dalam waktu yang singkat dengan biaya yang minimal. Kedua kriteria ini keberadaannya kadang-kadang saling bertentangan. Dalam rentang waktu tertentu, semakin singkat waktu pelaksanaan proyek, semakin besar biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek yang sama. Namun sampai pada titik tertentu, biaya pelaksanaan proyek akan meningkat dengan semakin panjangnya waktu pelaksanaan. Selain itu, proyek yang sama dapat diselesaikan dalam waktu yang sama dengan biaya yang berbeda pula. Dengan kata lain untuk durasi tertentu, proyek dapat diselesaikan dengan biaya yang beraneka ragam besarnya. Hal ini dapat terjadi karena banyaknya faktor yang mempengaruhi pelaksanaan proyek seperti, metode pelaksanaan, produktivitas tenaga dan alat, cuaca, lokasi pelaksanaan pekerjaan, motivasi tenaga kerja,

upah kerja, bahan dan peralatan yang dipakai.

Untuk menjawab permasalahan ini, perlu metode optimasi untuk mencapai hasil yang optimum berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh pihak yang terlibat dalam proyek. Banyak metode analitik maupun heuristik yang dipakai untuk menyelesaikan masalah ini, namun dalam penerapannya metode analitik tidak dapat menyelesaikan secara efektif permasalahan yang cukup besar dan lebih kompleks. Metode heuristik tidak dapat diterapkan pada setiap kasus dan umumnya hasil yang dicapai tidak optimal. Metode analitik dan heuristik umumnya difokuskan pada satu sasaran saja karena kompleksnya masalah penjadwalan multikriteria (Leu *et al*, 1999).

Dalam tulisan ini disajikan prosedur penerapan algoritme genetika untuk optimasi jadwal sebuah proyek konstruksi berdasarkan kriteria atau syarat-syarat yang ditetapkan untuk mencapai tujuan proyek tersebut.

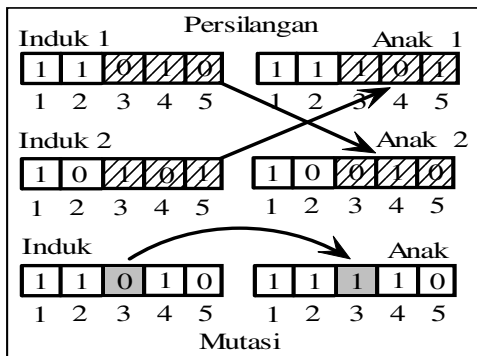
## KONSEP DASAR ALGORITME GENETIKA

Algoritme genetika adalah metode optimasi combinatorial, yang pertama kali disajikan oleh John Holland (Goldberg 1989), diilhami oleh mekanisme seleksi alam dan teori genetika yang dikemukakan oleh Darwin.

Algoritme genetika menyajikan suatu algoritme iterasi untuk mencari solusi optimum dari suatu populasi berdasarkan kriteria atau pun fungsi-fungsi yang ditetapkan oleh pemakai yang disebut dengan fungsi *fitness*. Setiap solusi diwakili oleh sebuah atau lebih kromosom artifisial yang disebut juga individu. Setiap individu dapat tersusun atas satu atau lebih kromosom, sedangkan kromosom terdiri atas kumpulan elemen yang disebut gen atau karakteristik yang dapat berupa satu bilangan biner atau alfabet. Jadi sebuah individu, yang mewakili sebuah solusi potensial, adalah berupa rangkaian biner

atau rangkaian alfabet. Setiap gen akan menduduki tempat dengan urutan tertentu dalam sebuah kromosom. Untuk menemukan solusi terbaik, algoritme genetika akan mencari kombinasi gen dalam sebuah kromosom agar dapat memberikan individu yang paling unggul berdasarkan fungsi *fitness*. Pada setiap iterasi, juga disebut *generasi*, dibuat populasi kromosom baru yang umumnya merupakan kromosom yang lebih baik berdasarkan fungsi *fitness*. Sedikit demi sedikit populasi yang terbentuk pada setiap generasi mengarah kepada nilai optimum dari fungsi *fitness*. Pembuatan populasi baru melalui generasi dari populasi sebelumnya, mengikuti tiga tahap penting (Renders, 1995; Golberg, 1994) yaitu :

- Evaluasi yang bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian setiap individu pada populasi lama dengan fungsi *fitness*.
- Seleksi bertujuan untuk menyeleksi individu-individu berdasarkan kriteria dan fungsi *fitness*.
- Reproduksi untuk melahirkan generasi baru melalui persilangan dan mutasi.



Gambar 1 : Persilangan dan mutasi

Gambar 1 menunjukkan prinsip dasar persilangan dan mutasi. Operator mutasi mengubah secara acak satu atau beberapa gen dalam sebuah kromosom. Sedangkan operator persilangan menukarkan satu atau beberapa gen induk yang satu dengan induk lainnya. Teknik persilangan dapat dilakukan dengan beberapa cara : pemotongan pada satu titik, pemotongan multi titik atau persilangan seragam. Pada gambar 1 ditunjukkan teknik persilangan dengan pemotongan pada satu titik yaitu pada batas antara gen nomor 2 dan 3. Penentuan

tempat pemotongan ini dilakukan secara acak. Apabila sebuah kromosom terdiri atas  $n$  buah gen dan pemotongan dilakukan pada gen yang terletak pada urutan ke  $k$  dimana  $1 \leq k \leq (n-1)$ , maka dari dua kromosom ini dapat diturunkan dua anak baru yang terdiri atas gen ke-1 sampai dengan gen ke- $k$  dari induk 1 ditambah dengan gen ke- $k+1$  sampai ke- $n$  dari induk kedua, sedangkan anak kedua terdiri atas gen ke-1 sampai dengan gen ke- $k$  dari induk kedua ditambah gen ke- $k+1$  sampai dengan gen ke- $n$  dari induk pertama.

Teknik persilangan dengan beberapa titik pemotongan dilakukan dengan mempertukarkan gen yang terletak diantara titik pemotongan pada induk yang satu dengan induk yang lainnya. Sedangkan persilangan seragam dilakukan dengan memilih satu gen secara acak dari satu induk dan menukarkannya dengan induk lainnya untuk memperoleh individu yang baru.

Pada bagian ini hanya ditampilkan prinsip dasar algoritme genetika yang akan dimanfaatkan dalam pengoptimasian penjadwalan proyek konstruksi. Tentu saja masih ada teknik lainnya dalam algoritme genetika yang tidak dibahas disini.

## PRINSIP DASAR OPTIMASI PENJADWALAN PROYEK

Komponen utama dari jadwal sebuah proyek adalah kegiatan-kegiatan yang saling berkaitan satu dengan yang lainnya (Filcher, 1976; Armand, 1985). Setiap kegiatan atau kegiatan mempunyai karakteristik yang berupa durasi, sumberdaya yang dibutuhkan, kapan dilaksanakan dan bagaimana cara pelaksanaannya.

Urutan pelaksanaan kegiatan berkaitan dengan teknik pelaksanaan dan teknologi yang diterapkan untuk pekerjaan itu, sedangkan kriteria hubungan antar kegiatan ditentukan oleh bagaimana cara pelaksanaan kegiatan dan karakter kegiatan tersebut. Kriteria ini meliputi kriteria yang berkaitan dengan teknologi yang diterapkan, keterbatasan sumberdaya, waktu dan kri-

teria yang muncul dari lingkungan tempat pekerjaan itu dilaksanakan.

Dari uraian singkat ini dapat ditentukan beberapa hal yang harus dilakukan agar sebuah jadwal yang optimum sesuai dengan kriteria-kriteria saat proyek tersebut dilaksanakan dapat dicapai. Pertama mencari kondisi yang optimum dari hubungan antara waktu dan biaya pelaksanaan proyek. Kemudian mencari penyelesaian yang terbaik apabila dalam pelaksanaan proyek ada keterbatasan sumberdaya dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya yang ketersediaannya terbatas. Misalnya pada saat bahan, tenaga atau peralatan yang terbatas, harus dicari penyelesaian yang terbaik dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya tadi.

Apabila  $D$  adalah total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek,  $t_i$  adalah tanggal mulai kegiatan  $i$ ,  $d_i$  adalah waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan  $i$  dan  $n$  adalah banyaknya kegiatan yang dilaksanakan untuk menyelesaikan proyek yang bersangkutan, maka perkiraan waktu penyelesaian proyek dapat dirumuskan seperti persamaan (1). Perkiraan waktu pelaksanaan proyek ini ditentukan berdasarkan lintasan kritis dari setiap jadwal proyek yang mungkin. Dari semua jadwal yang mungkin tersebut dicari durasi terendah. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

Meminimalkan

$$D = \max \{ t_i + d_i \mid i = 1, 2, \dots, n \} \dots\dots\dots 1$$

$$\text{Meminimalkan } B = \sum_{i=1}^n b_{d_i} \dots\dots\dots 2$$

Dengan kondisi :

$$t_j - t_i - d_i \geq w_{ij} \quad \forall j \in p_i \dots\dots\dots 3$$

$$\sum_{t_i \in G_{t_i}} s_{d_i,k} \leq BS_k, \quad k = 1, 2, \dots, m \dots\dots\dots 4$$

$$d_i, t_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots 5$$

Persamaan (2) menunjukkan syarat mengenai biaya proyek yang ditentukan oleh pihak yang terlibat dalam proyek.  $B$  adalah biaya riil yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek, sedangkan  $b_{d_i}$

adalah biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan  $i$  dalam waktu  $d_i$ .

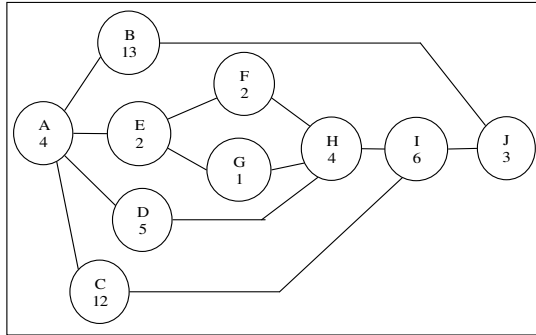
Persamaan (3) menunjukkan kriteria yang harus dipenuhi oleh setiap kegiatan dalam penjadwalan kegiatan tersebut. Misalnya, pekerjaan  $j$  dapat dilaksanakan tepat setelah kegiatan  $i$  selesai ( $w_{ij} = 0$ ). Persyaratan perbedaan waktu mulai kegiatan  $j$  terhadap waktu berakhirnya kegiatan  $i$  dilambangkan dengan  $w_{ij}$ , tanggal mulai kegiatan  $i$  dan  $j$  berturut-turut adalah  $t_i$  dan  $t_j$ . Sedangkan  $p_i$  adalah semua kegiatan yang mengikuti kegiatan  $i$ . Nilai  $w_{ij}$  tergantung dari syarat ketergantungan antara kegiatan satu dengan yang lainnya ditinjau dari sudut pandang pelaksanaan pekerjaan itu sesuai dengan teknologi yang diterapkan. Misalnya kegiatan  $j$  dapat dimulai apabila kegiatan  $i$  akan berakhir dalam waktu  $w_{ij}$  hari, atau kegiatan  $j$  dapat dilaksanakan setelah kegiatan  $i$  selesai  $w_{ij}$  hari.

Persamaan (4) menunjukkan persyaratan bahwa total sumberdaya tertentu yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan dalam waktu  $d_i$  ( $s_{d_i,k}$ ) dalam periode  $t_i$ , tidak melampaui sumberdaya yang tersedia ( $BS_k$ ), dimana  $k$  adalah jenis sumberdaya yang dipakai,  $m$  adalah banyaknya jenis sumberdaya dan  $G_{t_i}$  adalah semua kegiatan yang dilaksanakan pada periode  $t_i$ .

### ALGORITME GENETIKA DALAM OPTIMASI PENJADWALAN PROYEK

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa individu mewakili satu solusi potensial. Pada penjadwalan proyek, individu terdiri atas satu kromosom yang tersusun atas sederetan gen. Setiap gen mewakili satu kegiatan dan posisi gen dalam kromosom menunjukkan urutan pelaksanaan kegiatan yang mungkin (Chan dkk, 1996; Chua dkk, 1997). Karena dalam pembentukan kromosom atau individu dari gen-gen dalam algoritme genetika dilakukan secara acak, sedangkan dalam penjadwalan proyek ada saling keterkaitan antara satu gen dengan gen yang lainnya, maka dalam

penjadwalan proyek susunan gen yang membentuk sebuah kromosom harus memenuhi persyaratan yang tertentu seperti diuraikan sebelumnya. Untuk memudahkan pemahaman bagaimana algoritme genetika diterapkan dalam penjadwalan proyek, perhatikan jadwal proyek yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2 : Jadwal proyek

Untuk menentukan urutan pelaksanaan kegiatan dengan algoritme genetika, setiap kegiatan diwakili oleh sebuah gen dalam kromosom. Setiap kromosom yang terbentuk merupakan sebuah jadwal proyek yang memenuhi syarat saling ketergantungan dari setiap kegiatan. Masalahnya sekarang, bagaimana algoritme genetika dapat diterapkan untuk mencari jadwal proyek yang sesuai dengan syarat-syarat yang ditetapkan?

Operator persilangan dan mutasi yang dijelaskan pada konsep dasar algoritme genetika tidak dapat diterapkan secara langsung dalam kasus ini. Untuk itu perlu adanya modifikasi agar dapat diterapkan untuk mencari jadwal proyek yang terbaik (Chan dkk, 1996). Langkah pertama yang dilakukan adalah memilih dua jadwal yang mungkin sebagai induk pada generasi pertama. Misalnya A-B-D-C-E-G-F-H-I-J sebagai induk ke-1 dan A-E-F-B-G-D-C-H-I-J sebagai induk ke-2.

Langkah kedua adalah menentukan secara acak satu posisi gen pada salah satu induk. Misalnya posisi yang diperoleh dari induk ke-1 adalah 5. Selanjutnya dalam langkah ketiga dilakukan pemotongan gen-gen mulai dari gen ke-6 yaitu G sampai dengan gen posisi ke-10 (J) dari induk ke-1. Langkah keempat adalah menghapuskan semua gen pada induk ke-

2, yang sama dengan gen-gen yang terpotong pada induk ke-1.

Kemudian dilanjutkan dengan langkah kelima yaitu memilih secara acak satu gen dari kumpulan gen-gen yang dipotong dari induk ke-1 (G-F-H-I-J) dan gen-gen sisa dari induk ke-2 (A-E-B-D-C). Apabila pendahulu gen terpilih sudah terpasang, tempatkan gen ini pada posisi yang kosong berturut-turut dari kiri kekanan. Apabila pendahulu gen yang terpilih belum terpasang, ulangi langkah kelima sampai semua gen terpasang dan membentuk kromosom baru sesuai dengan syarat yang ditentukan. Prosedur persilangan ini ditampilkan secara grafik pada Gambar 3.

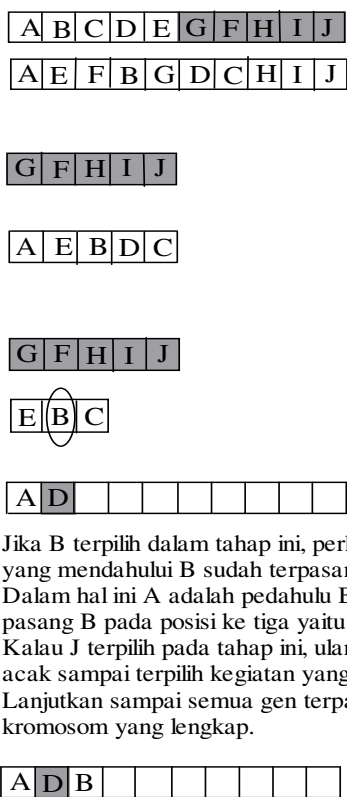
Dengan memutasi gen-gen dalam satu induk juga dapat dibentuk kromosom baru dengan langkah sebagai berikut. Pertama tentukan dua titik secara acak gen-gen yang akan dimutasi. Misalnya diperoleh 3 dan 8. Selanjutnya pilih secara acak satu gen yang terpotong kemudian letakkan berturut-turut dari kiri ke kanan pada posisi yang kosong dari induk yang sama dengan tetap memperhatikan apakah gen pendahulunya sudah terpasang apa belum. Bila belum, ulangi memilih secara acak gen yang belum ditempatkan. Bila sudah, tempatkan gen ini pada posisi terkiri dari tempat yang kosong. Demikian seterusnya sampai semua gen menempati satu posisi dalam kromosom.

Prosedur persilangan dan mutasi ini mirip dengan operator UX3 dan UM3 yang ditampilkan oleh SOU *et al*, 1999. Namun disini persilangan dilakukan dengan pemotongan pada satu titik. Selanjutnya waktu dan biaya pelaksanaan proyek berdasarkan kromosom (jadwal) baru yang diperoleh. Demikian selanjutnya iterasi ini dilakukan berulang-ulang. Setiap jadwal baru yang diperoleh dievaluasi biaya dan waktu yang diperlukannya. Setiap pasangan waktu-biaya yang diperoleh dari setiap kromosom yang terbentuk dibandingkan kecocokannya dengan fungsi yang ditentukan. Setiap pasangan waktu-biaya pelaksanaan proyek yang lebih optimum dipertahankan, kemudian dibanding-

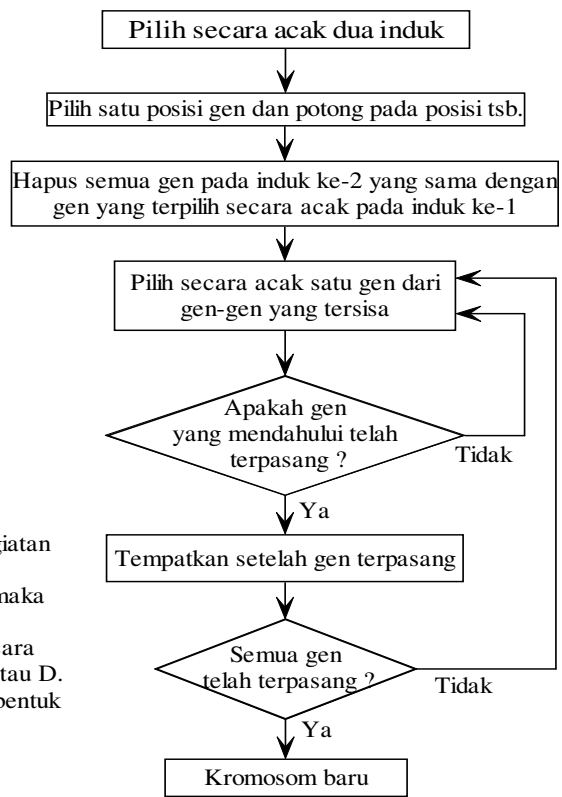
kan lagi dengan yang baru, demikian seterusnya.

Apabila diperhatikan individu atau kromosom yang mewakili sebuah jadwal berupa untaian kegiatan-kegiatan yang tersusun dalam urutan tertentu. Urutan posisi gen (kegiatan) pada suatu kromosom menunjukkan urutan pelaksanaan kegiatan yang mungkin, sedangkan kegiatan yang paralel tidak terlihat pada kromosom ini. Kalau dilihat dari konteks penjadwal proyek dengan sumberdaya yang terbatas,

dimana sering terjadi konflik dalam menentukan prioritas kegiatan yang akan menggunakan sumberdaya yang tersedia tersebut, maka untaian gen-gen dalam suatu kromosom suatu jadwal proyek dapat juga diartikan sebagai urutan prioritas kegiatan-kegiatan yang berhak menggunakan sumberdaya apabila terjadi konflik pemakaian sumberdaya. Dalam hal ini posisi gen menunjukkan prioritas pelaksanaan kegiatan apabila terjadi konflik.



Jika B terpilih dalam tahap ini, perhatikan apakah kegiatan yang mendahului B sudah terpasang apa belum. Dalam hal ini A adalah pedahulu B telah terpasang, maka pasang B pada posisi ke tiga yaitu tepat setelah D. Kalau J terpilih pada tahap ini, ulangi lagi memilih secara acak sampai terpilih kegiatan yang didahului oleh A atau D. Lanjutkan sampai semua gen terpasang sehingga terbentuk kromosom yang lengkap.



Gambar 3 : Prosedur penjadwalan dengan algoritme genetika

Untuk perataan sumberdaya, gen-gen dalam kromosom diwakili oleh tanggal mulai setiap kegiatan (Chua dkk, 1997; Faniran dkk, 1999). Dengan mengubah-ubah secara acak tanggal mulai setiap kegiatan dalam rentang waktu yang diijinkan untuk setiap kegiatan tersebut, akan diperoleh jadwal baru. Kemudian kebutuhan sumberdaya setiap periode tertentu (harian mingguan, bulanan dan seterusnya) dari jadwal baru ini dihitung. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan sumberdaya

yang tersedia. Kesesuaian hasilnya dievaluasi sesuai dengan kriteria yang ditetapkan dalam fungsi *fitness*nya.

**SIMPULAN**

Algoritme genetika adalah metode optimasi kombinasi yang sangat fleksibel untuk menyelesaikan masalah optimasi multi-obyektif maupun obyektif tunggal. Algoritme genetika dapat diterapkan untuk menyelesaikan optimasi dengan ob-

yektif tunggal seperti hubungan antara waktu dan biaya, masalah keterbatasan sumberdaya maupun masalah perataan sumberdaya. Algoritme genetika bahkan dapat diterapkan untuk menyelesaikan secara bersamaan ketiganya secara integral, yang sangat sulit dilakukan dengan metode tradisional maupun heuristik yang sering dipakai selama ini. Dalam penjadwalan proyek, khususnya menentukan urutan pelaksanaan kegiatan yang tertuang dalam untaian gen dalam sebuah kromosom, operator genetika tidak dapat diterapkan secara langsung, tetapi harus dievaluasi terlebih dahulu mengenai syarat ketergantungan antar kegiatan dalam proyek agar kromosom yang terbentuk benar-benar dapat mewakili salah satu solusi penjadwalan kegiatan.

Dibalik keunggulan dari algoritme genetika ini, dalam penerapannya kadang-kadang sulit menentukan parameter untuk menghentikan pencarian hasil yang optimal untuk menghindari nilai optimum lokal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Armand, J. et Raffestin, Y., 1985, *Conduire Son Chantier*, Moniteur, Paris p.73-111.
- Chan, W., Chua, D.K.H. and Kannan, G., 1996, Construction Resource Scheduling with Genetic Algorithms, *Journal of Construction Engineering and Management* 122(2) : 420-427.
- Chua, D. K. H., Chan, W. T. and Govindan, K., 1997, A Time-Cost Trade-Off Model With Resource Consideration Using Genetic Algorithm, *Civil Engineering System* 14: 291-311.
- Faniran, O. O., Love, P. E. D. and Li, H., 1999, Optimal Allocation of Construction Planning Resources, *Journal of Construction Engineering and Management* 125(5) : 311-319.
- Filcher, R. 1976, *Principles of Construction Management*, McGRAW-HILL Book Company (UK) Limited, England.
- Fischer, M. A. and Aalami, F., 1996, Scheduling with Computer-Interpretable Construction Method Models, *Journal of Construction Engineering and Management* 122(4): 337-347.
- Goldberg, D.E., 1994, *Algorithmes génétiques*, Adison-Wesley, France.
- Hegazy, T., 1999, Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Genetic Algorithms, *Journal of Construction Engineering and Management* 125(3) : 167-175.
- Leu, S., Chen, A. and Yang, C., (1999), Fuzzy Optimal Model for Resource-Constrained Construction Scheduling, *Journal of Computing in Civil Engineering* 13(3) : 207-216.
- Leu, S. and Yang, C., 1999, GA-Based Multi-criteria Optimal Model for Construction Scheduling, *Journal of Construction Engineering and Management* 125(6) : 420-427.
- Liu, C., Hammad, A., 1997, Multiobjective Optimization of Bridge deck Rehabilitation Using a Genetic Algorithm, *Microcomputers in Civil Engineering* 12 : 431- 443.
- Renders, J. M., 1995, *Algorithmes génétiques et réseaux de neurones*, Hermes, Paris.