

OPTIMASI PENJADWALAN PROYEK REPETITIF DENGAN METODE *LINEAR PROGRAMMING*

Victor Saputra¹, Onnyxiforus Gondokusumo²

¹Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara
victorsaputra94@yahoo.com

² Dosen Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara
onnyxiforusg@pps.untar.ac.id

ABSTRAK

Proyek repetitif adalah proyek konstruksi yang pekerjaannya dilakukan secara berulang. Pada umumnya penjadwalan proyek repetitif menggunakan metode repetitive scheduling method. Namun kekurangan dari RSM adalah tidak menghasilkan penjadwalan yang optimum (biaya minimum). Untuk mendapatkan durasi optimum biasanya digunakan metode network compression untuk penjadwalan. Maka dari itu untuk mendapatkan penjadwalan optimum dari proyek repetitif digabungkan dua metode penjadwalan tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan analisis pada proyek perumahan di daerah Madiun, Jawa Timur dengan tipe rumah 51/80 yang berjumlah 28 unit. Dalam analisis tersebut diperhatikan beberapa hal yang berpengaruh terhadap durasi dan biaya total proyek antara lain work-break time dan compression duration. Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan biaya minimum sehingga hasil akhirnya adalah sebuah penjadwalan dengan biaya proyek terkecil. Analisis penelitian menggunakan metode analisis linear programming dengan program LINGO. Analisis network compression pada proyek repetitif menghasilkan penjadwalan dengan durasi optimum dan menunjukkan durasi kegiatan antar unit dapat berbeda-beda.

Kata kunci: penjadwalan; proyek repetitif; *network compression*; durasi optimum; *work-break*; *linear programming*

1. PENDAHULUAN

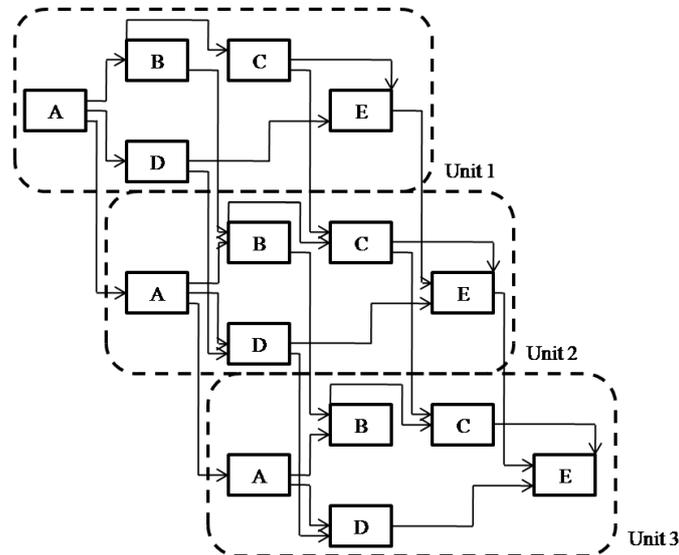
Latar Belakang

Proyek konstruksi dapat dikatakan berhasil apabila dapat terlaksana sesuai dengan perencanaan. Selain sesuai dengan perencanaan, tentu saja pengendalian atau kontrol saat melaksanakan pekerjaan menjadi sebuah tolok ukur dari keberhasilan sebuah proyek. Pengendalian proyek terdiri dari beberapa aspek, antara lain biaya, mutu, dan waktu. Pengendalian mutu dapat terlaksana pada saat pelaksanaan proyek sudah dilakukan, namun untuk pengendalian biaya dan waktu sudah dapat diperkirakan pada saat perencanaan dalam tahap penjadwalan. Penjadwalan ditentukan berdasarkan metode-metode pelaksanaan yang akan dilakukan. Dengan mengetahui metode kerja yang akan dilakukan, maka dapat dibuat jaringan kerja yang menentukan durasi dari suatu proyek.

Sebuah jaringan kerja tentunya memiliki minimal 1 jalur kritis. Jalur kritis merupakan rangkaian pekerjaan sebuah proyek yang dapat menentukan durasi dari suatu proyek. Metode jalur kritis paling umum digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan dan penjadwalan proyek. Durasi pelaksanaan proyek dapat diketahui dari penjumlahan durasi pekerjaan yang termasuk dalam jalur kritis. Jaringan proyek yang memiliki lebih dari 2 jalur kritis mempunyai nilai akhir durasi proyek yang sama. *“The critical path method (CPM) is most commonly used for planning, scheduling, and control of such projects. Nonetheless, network analysis techniques are duration oriented and cannot sufficiently address resource management issues”* (Ipsilandis, 2007).

Pada dunia konstruksi saat ini, sering sekali didapati proyek-proyek yang memiliki pekerjaan identik atau sama yang dilakukan secara berulang atau repetitif. Jaringan kerja untuk pekerjaan repetitif dapat dilihat pada Gambar 1 dengan keterangan A, B, C, D, dan E merupakan sebuah kegiatan atau aktivitas. Pembuatan jaringan kerja untuk proyek repetitif biasanya dilakukan dengan *repetitive scheduling method*. Dengan menggunakan metode ini kita dapat mengetahui penjadwalan proyek repetitif untuk masing-masing pekerjaan dari jumlah unit yang ditinjau.

Kekurangan dari metode ini adalah tidak mempertimbangkan terhadap biaya proyek, sedangkan tujuan dari perencanaan penjadwalan yaitu untuk mendapatkan jadwal proyek dengan biaya operasional terkecil. “Other techniques that focus on resource usage, such as the repetitive scheduling method (RSM) have been proposed as more suitable for scheduling and controlling repetitive projects” (Ipsilandis, 2007).



Gambar 1. Jaringan Kerja Proyek Repetitif

Untuk mendapatkan biaya operasional terkecil, biasanya dilakukan analisis percepatan penjadwalan (*crashing*) dengan metode network compressions. Metode ini digunakan untuk mendapatkan durasi optimum dengan biaya minimum.

2. METODE PENELITIAN

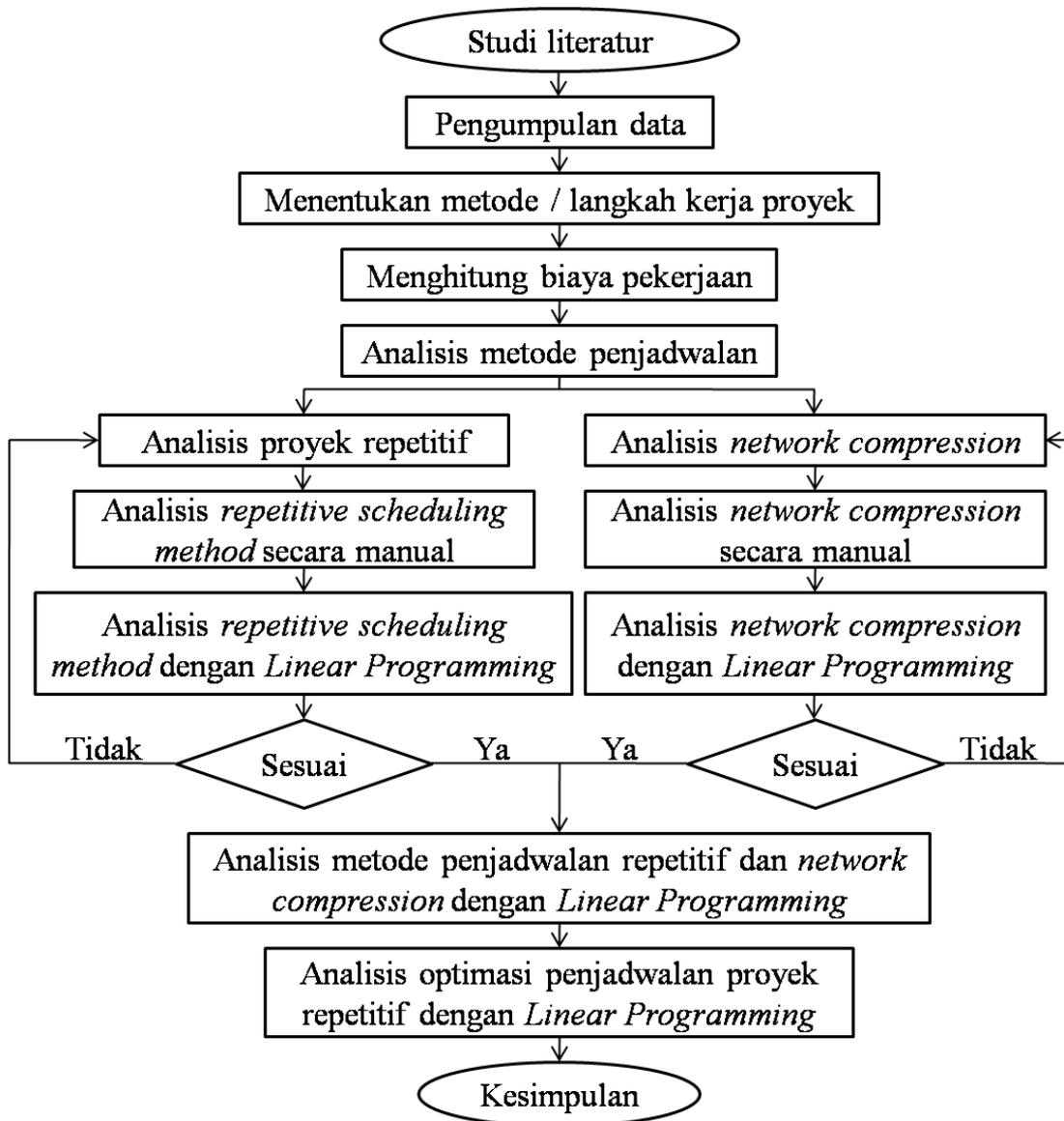
Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode analisis menggunakan *linear programming* dengan bantuan program LINGO dari LINDO System. Penelitian ini dilakukan untuk membantu dalam penjadwalan proyek dan mengetahui durasi dan biaya yang paling optimum. Adapun tahapan-tahapan penelitian ini dirangkum dalam bentuk diagram yang dapat dilihat pada Gambar 2. Dalam hal ini melakukan analisis secara manual dan *programming* dapat dilakukan secara parallel.

Repetitive Scheduling Method

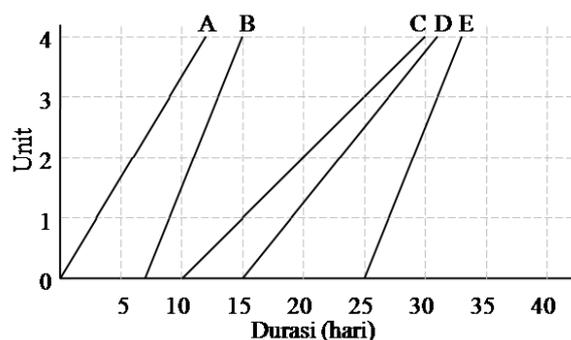
Metode ini diwakili dalam bentuk grafik X-Y dari alur serial garis produksi, yang keduanya mewakili aktivitas berulang atau repetitif. *Repetitive scheduling method* bukan merupakan teknik yang sulit, tetapi sangat sederhana dan mudah diterapkan dalam metodologi penjadwalan, mengikuti kebiasaan dari konsep dan hubungan yang dapat ditemukan dalam *Critical Path Method Precedence Network* (Harris, 1998).

Kelebihan dari RSM dapat dengan mudah diketahui kemajuan proyek tiap aktivitas pada setiap lokasi atau keseluruhan proyek, serta dapat memonitor kontinuitas kerja dari unit-unit kerja tiap aktivitas (Harris, 1998). Dalam grafik *repetitive scheduling method* sumbu Y (vertikal) digambarkan untuk jumlah unit yang berulang. Sedangkan sumbu X (horizontal) digambarkan

untuk durasi pekerjaan (jumlah hari atau satuan waktu). Contoh grafik pada RSM dapat dilihat pada Gambar 3.



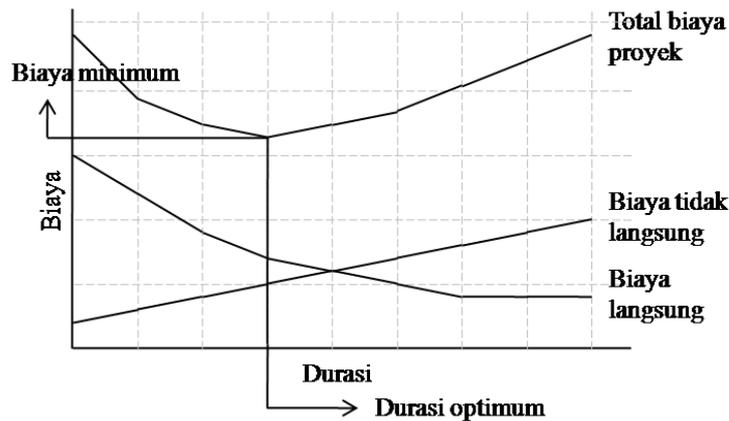
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Repetitive Scheduling Method

Project Crashing (Network Compression)

Project crashing adalah proses sistematis untuk mendapatkan biaya terkecil, dimana dapat dicapai dengan mempercepat proyek. Pada *project crashing*, aktivitas-aktivitas yang ada dalam proyek akan dipercepat (*crash*) untuk mempercepat durasi proyek secara keseluruhan. Saat suatu aktivitas dipercepat maka biaya langsung untuk aktivitas tersebut akan menjadi naik, dilain pihak dengan berkurangnya durasi proyek secara keseluruhan akan mengurangi biaya *overhead* atau yang biasa disebut biaya tidak langsung. Hubungan biaya langsung dan biaya tidak langsung dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Biaya-Waktu

Dasar dari *project crashing* adalah mempercepat durasi proyek sehingga penghematan biaya tak langsung (*overhead*) proyek lebih besar dari penambahan biaya langsung akibat percepatan. *Cost slope* merupakan biaya tambahan untuk suatu aktivitas terhadap percepatan waktu penyelesaian kegiatan tersebut yang dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Cost\ Slope = \frac{Biaya\ Crash - Biaya\ Normal}{Durasi\ Normal - Durasi\ Crash} \dots\dots\dots Pers. 1$$

Linear Programming

Sebuah teknis matematis yang digunakan untuk membantu manajemen memutuskan bagaimana menggunakan sumber daya organisasi yang paling efektif (Render et al., 2012). Suatu teknik untuk mencari pemecahan yang optimal dalam persoalan alokasi sumber-sumber yang langka, yang dapat dinyatakan dalam hubungan-hubungan linear (Kussriyanto, 1985). Secara garis besar *linear programming* merupakan suatu metode pemecahan masalah linier secara matematis yang terdiri dari fungsi tujuan linier dan kendala batasan linier untuk dapat menghasilkan solusi dan pemecahan masalah yang optimal dalam suatu manajemen.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi agar suatu masalah dapat dipecahkan dengan *linear programming* antara lain:

1. Terdapat tujuan (*objective function*) tertentu yang harus dioptimalkan, baik memaksimalkan atau meminimalkan.
2. Harus ada batasan (*constrains*) yang membatasi jumlah atau tingkat tercapainya tujuan.
3. Harus ada beberapa alternatif yang dapat dipilih.
4. Semua tujuan (*objective function*) dan batasan (*constraints*) yang digunakan harus dinyatakan dalam suatu persamaan atau pertidaksamaan linier.

Objective Function

Dalam penelitian ini parameter yang ditinjau hanyalah biaya akhir proyek sehingga *objective function* yang digunakan adalah meminimalkan *cost project*.

Constraint Definitions

Batasan yang digunakan dalam penelitian *linear repetitive project* antara lain:

1. Batasan durasi pekerjaan
 $F_x - S_x + C_x = \text{durasi pekerjaan normal}$ Pers. 2
2. Batasan hubungan antar pekerjaan
 - *Finish to start*
 $S_y - F_x \geq 0$ (tidak selalu 0, tergantung dari hubungan *lead/lag* aktivitas) Pers. 3
 - *Start to start*
 $S_y - S_x \geq 0$ (tidak selalu 0, tergantung dari hubungan *lead/lag* aktivitas) Pers. 4
 - *Finish to finish*
 $F_y - F_x \geq 0$ (tidak selalu 0, tergantung dari hubungan *lead/lag* aktivitas) Pers. 5
 - *Start to finish*
 $F_y - S_x \geq 0$ (tidak selalu 0, tergantung dari hubungan *lead/lag* aktivitas) Pers. 6
3. Batasan *work-break activity*
 $S_{x(n+1)} - F_{xn} - WB_x = 0$ Pers. 7

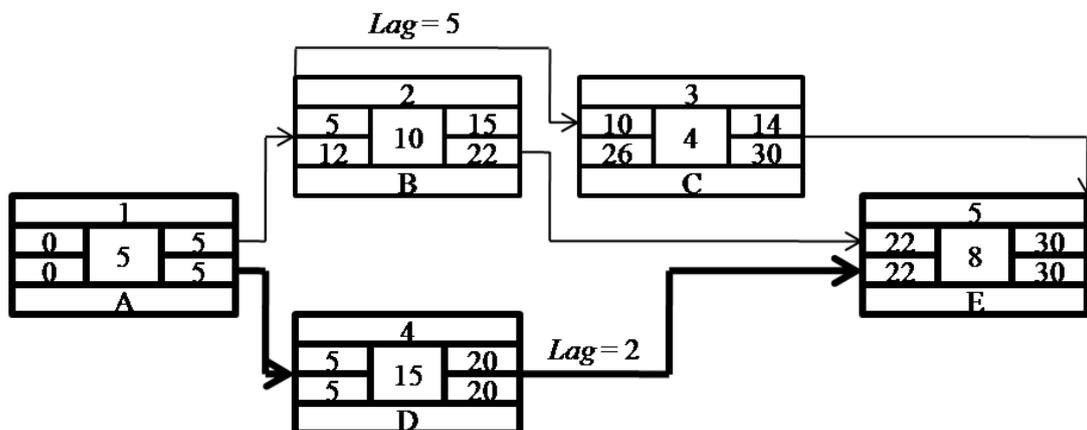
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Contoh Studi Kasus

Pada bagian ini adalah demonstrasi dari pengaplikasian *repetitive project + network compression*, menggunakan jaringan kerja sederhana pada Gambar 5 dan asumsi biaya seperti pada Tabel 1.

Repetitive Network

Dalam analisis bagian ini asumsi melakukan kegiatan pada 2 unit proyek yang berhubungan *finish to start* untuk kegiatan yang sama dengan unit berbeda. Analisis ini mempertimbangkan *work-break time* sebagai bahan acuan dalam RSM dan dianalisis dengan menggunakan program komputer. Hasil output program kemudian dibuatkan grafik penjadwalan pada Gambar 6. Dari hasil *output* LINGO dapat diketahui bahwa *objective value* sama dengan 0 yang artinya tidak ada biaya untuk *work-break* atau secara tidak langsung mengindikasikan bahwa waktu *work-break* sama dengan 0 hari.

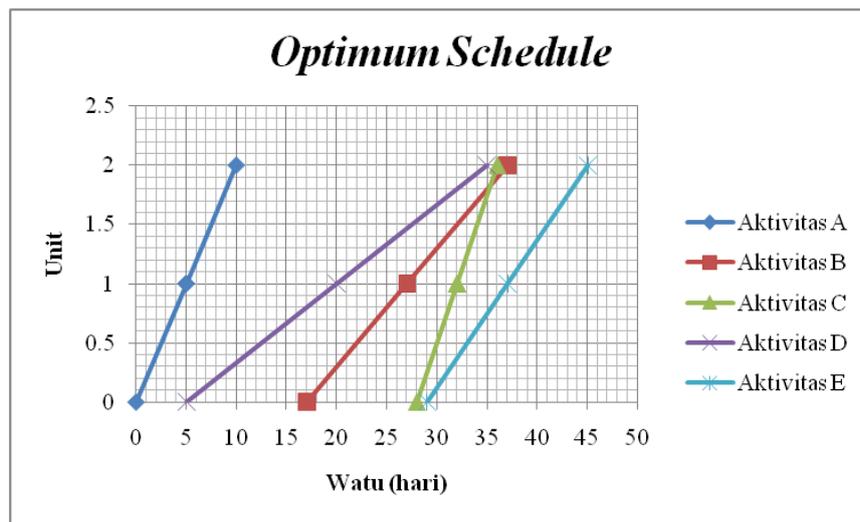


Gambar 5. Contoh Jaringan Kerja

Tabel 1. Data Durasi dan Biaya

Activity	Duration		Cost		Δ Duration	Δ Cost	Cost Slope
	Normal	Crash	Normal	Crash			
A	5	3	400	800	2	400	200
B	10	9	800	1000	1	200	200
C	4	3	600	750	1	150	150
D	15	12	500	800	3	300	100
E	8	7	800	850	1	50	50

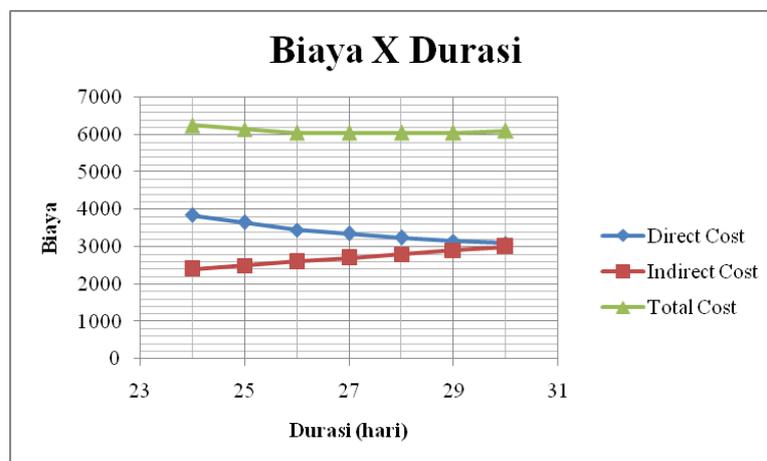
Indirect Cost 100



Gambar 6. Optimum Schedule dari Program LINGO

Network Compression

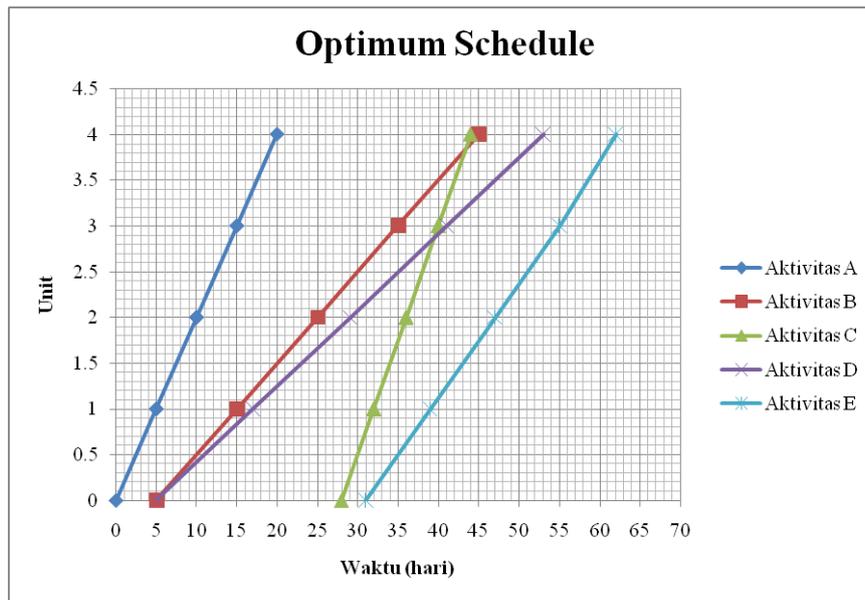
Dalam analisis *network compression* melakukan kegiatan hanya pada 1 unit proyek. Analisis ini mempertimbangkan biaya *compression* dan *indirect cost* dan dianalisis dengan menggunakan program komputer. Hasil output program kemudian dibuatkan kurva biaya-waktu pada Gambar 7. Dari hasil *output* LINGO dapat diketahui bahwa durasi optimum yang didapatkan adalah 26 sampai 29 hari dengan biaya minimum sebesar 6050.



Gambar 7. Kurva Biaya-Waktu

Repetitive + Compression Network

Pada bagian ini dilakukan analisis *network compression* pada jaringan kerja repetitif dengan jumlah unit adalah 4. Analisis ini mempertimbangkan *work-break time*, biaya *compression*, *indirect cost* dan dianalisis dengan menggunakan program komputer. Hasil output program kemudian dibuatkan grafik penjadwalan pada Gambar 8. Dari output LINGO dapat dilihat bahwa nilai biaya *work-break* sama dengan 0, berarti masing-masing aktivitas dapat dilakukan menerus dari awal hingga akhir proyek. Sedangkan nilai biaya total sebesar 19850 yang terdiri dari biaya langsung sebesar 13650 dan biaya tidak langsung sebesar 6200.



Gambar 8. *Optimum Schedule* dari LINGO (*Repetitive + Compression*)

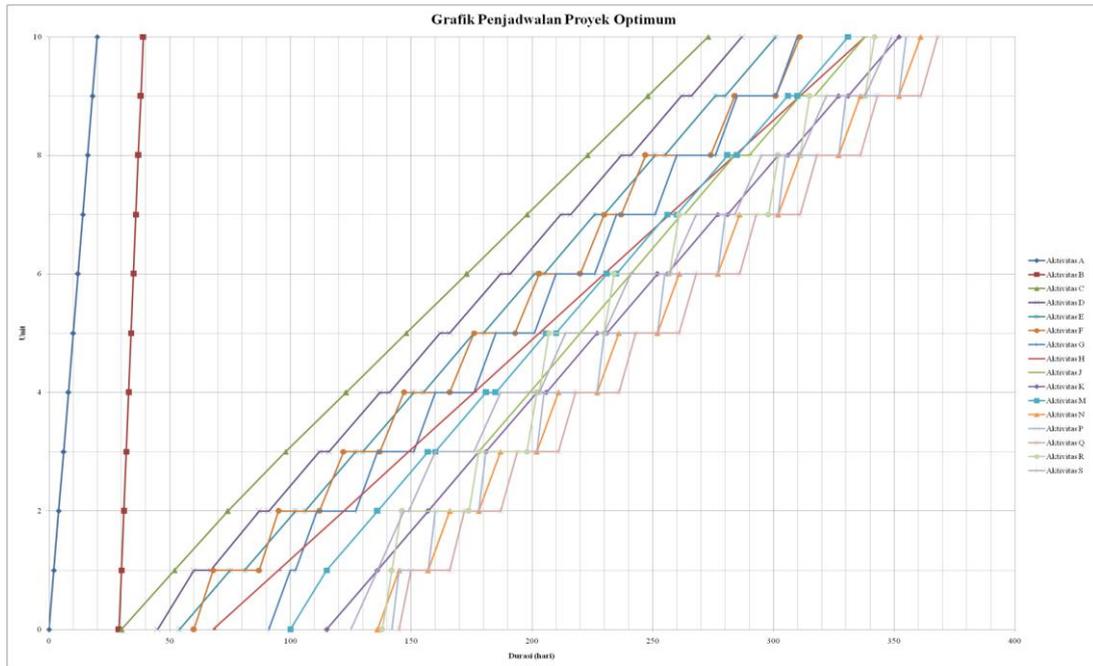
Sebagai perbandingan diberikan 1 macam alternatif yaitu menggandakan tim kerja dengan jaringan kerja dilakukan percepatan, yaitu menggunakan jumlah tim kerja sesuai dengan jumlah unit yang ditinjau. Sehingga tidak memperhitungkan tambahan biaya akibat *work-break*.

Dengan perbandingan memperhitungkan 4 unit, dengan kata lain diasumsikan menggunakan 4 tim kerja. Apabila 1 unit dilakukan percepatan mendapatkan biaya sebesar 6050, maka dengan 4 tim kerja yang bekerja bersamaan biaya total menjadi 24200 dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Durasi 1 unit} &= 29 \text{ hari} \\
 \text{Direct cost} &= 3150 \\
 \text{Indirect cost} &= 2900 \\
 \text{Total cost} &= 6050 \\
 \text{Biaya total untuk 4 unit dikerjakan secara bersamaan} &= 6050 \times 4 \\
 &= 24200
 \end{aligned}$$

Studi Kasus (Perumahan Madiun, Jawa Timur, Indonesia)

Metode ini diaplikasikan pada proyek perumahan daerah Madiun, Jawa Timur, Indonesia. Perumahan yang ditinjau adalah rumah dengan tipe 51/80 yang berjumlah 28 unit. Dalam membuat penjadwalan untu proyek repetitifdigunakan program LINGO. *Output* dari program kemudian dibuatkan grafik seperti pada Gambar 9 yang menunjukkan penjadwalan aktivitas unit pertama hingga unit kesepuluh.



Gambar 9. Grafik Penjadwalan Optimum Proyek

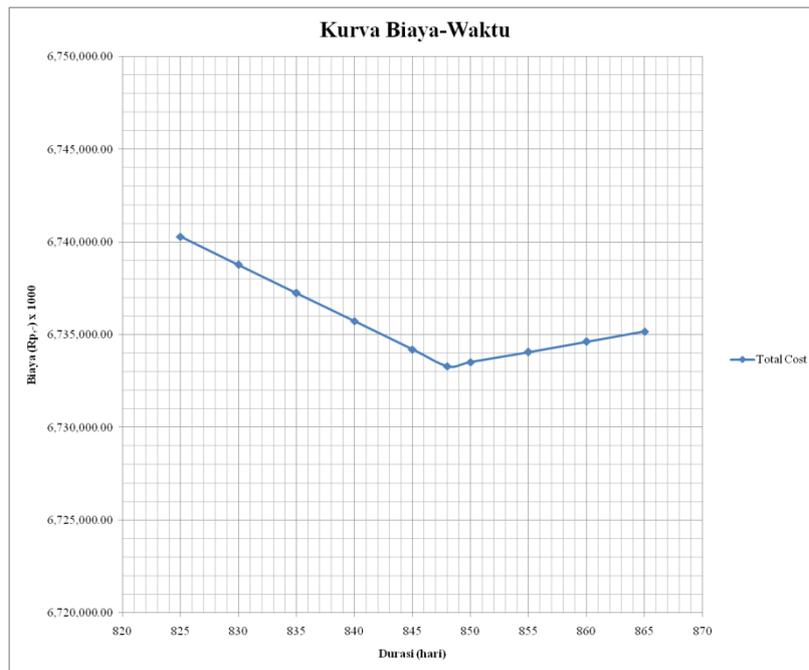
Dari grafik diatas durasi optimum proyek adalah 848 hari. Kurva biaya –waktu berdasarkan variasi durasi pelaksanaan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 10.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil proses optimasi penjadwalan proyek perumahan maka kesimpulan yang didapat adalah analisis untuk proyek repetitif dan dilakukan *compression* dapat memberikan hasil yang optimal dalam merencanakan penjadwalan proyek, hal ini ditunjukkan dengan total biaya yang paling minimum pada kurva biaya-waktu. Dalam analisis proyek repetitif yang memperhitungkan waktu jeda (*work-break time*) sangat dipengaruhi oleh batasan durasi pelaksanaan proyek. Semakin cepat durasi yang ingin dicapai maka nilai *work-break time* akan semakin tinggi dan sebaliknya.

Tabel 2. Data Kurva Biaya-Waktu Proyek

Durasi hari	Biaya (Rp,-) x 1000
865	6.735.174,00
860	6.734.623,00
855	6.734.072,00
850	6.733.522,00
848	6.733.301,00
845	6.734.213,00
840	6.735.732,00
835	6.737.251,00
830	6.738.770,00
825	6.740.290,00



Gambar 10. Kurva Biaya-Waktu Proyek

Berdasarkan hasil *output* dari program LINGO dapat dilihat untuk durasi *compression* untuk masing-masing aktivitas dan unit serta nilai *work-break time* aktivitas antar unit. Besarnya nilai *compression* dan *work-break* dapat beraneka ragam untuk masing-masing aktivitas dan unit yang berarti durasi pelaksanaan tiap aktivitas beraneka ragam untuk tiap unit. Namun hal ini dianggap kurang *workable* di lapangan, apabila memperhatikan aspek *workable* maka durasi yang didapatkan tidak optimum dengan kata lain biaya konstruksi tidak minimum.

NOTASI

- F = waktu selesai kegiatan
- S = waktu mulai kegiatan
- C = waktu percepatan kegiatan
- WB = waktu jeda (*work-break time*)
- x, y = kegiatan proyek
- n = unit proyek

REFERENSI

- Ipsilandis, P. G. (2007). *Multiobjective Linear Programming Model for Scheduling Linear Repetitive Projects*. ASCE Journal of Construction Engineering and Management.
- Stevens, J. D. (1990). *Techniques for Construction Network Scheduling*. McGraw Hill.
- Callahan, M. T. (1992). *Construction Project Scheduling*. McGraw Hill.
- Harris, R. B. (1998). *Scheduling Project With Repeating Activity*. ASCE Journal of Construction Engineering and Management.
- Kussriyanto, B. (1985). *Linear Programming dan Metoda Jalur Kritis*. Antar Kota
- Render, B., Ralph M. Stair, & Michael E.H. (2012). *Quantitative Analysis for Management Elevent Edition*. Pearson Prentice.