

PENERAPAN *RESOURCE LEVELING* DENGAN METODE ALGORITMA GENETIKA PADA PROYEK KONSTRUKSI DI JAKARTA

Hendy ¹, Henny Wiyanto²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: h_mudyono@yahoo.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: hennyw@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Tenaga kerja merupakan salah satu sumber daya yang berpengaruh terhadap penyelesaian proyek konstruksi. Pada fase konstruksi sering kali muncul masalah yang berkaitan dengan pengaturan tenaga kerja. Fluktuasi kebutuhan tenaga kerja yang tajam menyebabkan kebutuhan puncak tenaga kerja harian menjadi tinggi. Untuk itu diperlukan suatu cara untuk mengatasi fluktuasi yang tajam tersebut yaitu dengan perataan tenaga kerja. Perataan tenaga kerja menggunakan metode algoritma genetika dengan bantuan program Evolver. Hasil penelitian pada proyek X menunjukkan bahwa perataan tenaga kerja pada tenaga kerja (tukang batu, tukang kayu, dan tukang besi) berpengaruh terhadap kebutuhan puncak tenaga kerja harian. Terjadi penurunan kebutuhan puncak tenaga kerja tukang besi dari 77 orang menjadi 70 orang. Efisiensi yang terjadi adalah 9,1%. Dapat disimpulkan bahwa perataan tenaga kerja yang dilakukan pada penelitian ini dapat mengurangi kebutuhan puncak tenaga kerja.

Kata kunci: fluktuasi, perataan tenaga kerja, proyek konstruksi, algoritma genetika

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia sangatlah pesat di segala bidang. Oleh karenanya, sejalan dengan perkembangan ini, diperlukan pengawasan dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan proyek konstruksi agar dapat mencapai tujuan dan harapan yang diinginkan.

Karakteristik volume pekerjaan yang tersedia pada proyek konstruksi yang bersifat tidak stabil menyebabkan berfluktuasinya kebutuhan terhadap tenaga kerja. Selain itu, pada penjadwalan banyak terjadi *overlap* antara aktivitas satu dengan aktivitas lainnya, sehingga menyebabkan kebutuhan puncak tenaga kerja harian menjadi tinggi.

Pemerataan sumber daya manusia (*resource leveling*) merupakan salah satu usaha yang dilakukan untuk menghindari fluktuasi yang tajam tersebut. Tujuan dilakukannya pemerataan adalah untuk memperoleh pemanfaatan yang optimal dari sumber daya manusia dan untuk menghindari saat dimana kebutuhan tenaga menjadi sangat tinggi atau sangat rendah (Raja and Kumanan, 2007).

Maksud dan tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah menghitung jumlah perbedaan tenaga kerja sebelum dan sesudah dilakukan *resource leveling* dengan metode Algoritma Genetika. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui banyak perbedaan tenaga kerja sebelum dan sesudah dilakukan *resource leveling* dengan metode Algoritma Genetika.

Ruang lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah perataan tenaga kerja yang dilakukan dengan metode Algoritma Genetika. Data yang dikumpulkan adalah data penjadwalan proyek yang dapat menunjukkan informasi jenis kegiatan, durasi kegiatan, dan keterkaitan aktivitas beserta keterangan kebutuhan tenaga kerja per hari untuk setiap kegiatan.

Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah waktu mulai dan selesai pengerjaan proyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah tetap dan tidak dapat diperpanjang. Durasi setiap kegiatan didalam proyek adalah tetap. Produktivitas pekerja setiap kegiatan dianggap sama.

2. DASAR TEORI

Perataan sumber daya (*resource leveling*)

Sering terjadi pada saat tertentu proyek terlalu banyak menyedot sumber daya (tenaga kerja) dan pada saat yang lain terlalu sedikit membutuhkan sumber daya sehingga pemakaian sumber daya ini tidak merata. Untuk itu harus dilakukan perataan agar tidak ada sumber daya yang dibiarkan (terutama tenaga kerja) setelah pada saat tertentu diperlukan.

Soeharto (2001) menyatakan, naik turunnya pekerjaan baik yang disebabkan oleh ada atau tidaknya kontrak atau usaha yang ditangani, maupun oleh sifat kegiatan proyek sendiri yang bersifat dinamis, mengakibatkan jumlah keperluan tenaga kerja yang berubah-ubah selama siklus proyek, baik kuantitas maupun kualitasnya. Untuk menjaga efisiensi, maka jumlah tenaga kerja harus disesuaikan dengan perubahan tersebut. Caranya adalah dengan sistem multiguna (*multicraft*), yaitu seorang tenaga kerja dilatih dan ditingkatkan kemampuan agar dapat menangani berbagai macam pekerjaan. Cara lain adalah dengan meratakan pemakaian tenaga kerja (*resource leveling*), tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya gejolak naik-turun (fluktuasi) yang tajam.

Fluktuasi kebutuhan sumber daya yang berlebihan menyebabkan berbagai masalah, misalnya pengadaan dan pemulangan pekerja secara tidak beraturan, penurunan efisiensi kerja di lapangan, dan penurunan semangat kerja. Keadaan ideal tercapai apabila bentuk histogram pembebanan sumber daya adalah rata. Keadaan optimum perlu dicari dengan pengaturan jadwal kerja agar kebutuhan sumber daya mempunyai fluktuasi yang sama. Hal ini dilakukan dengan menggeser jadwal pekerjaan yang memiliki float, sehingga tidak mengganggu penyelesaian proyek secara keseluruhan.

Resource leveling metrics

Metrik perataan sumber daya telah dikembangkan untuk dapat menghitung secara langsung dampak yang dihasilkan dari fluktuasi sumber daya pada suatu proyek dari segi produktivitas dan biaya (El-Rayes and Jun, 2009). Fluktuasi ini dapat dibedakan menjadi 2 berdasarkan dampak yang dihasilkan terhadap efisiensi penggunaan tenaga kerja yaitu : (1) Fluktuasi yang dapat diterima / *acceptable fluctuation* dan (2) fluktuasi yang tidak diinginkan / *undesirable fluctuation*.

Fluktuasi yang dapat diterima adalah fluktuasi yang membentuk grafik naik dan kemudian turun yang memiliki puncak di bagian atas grafik seperti bentuk gunung pada histogram pekerja, Histogram yang membentuk grafik naik diawal dan kemudian turun diakhir akan meminimalisasi tugas kontraktor untuk memanggil, mengistirahatkan, dan kemudian memanggil kembali pekerja (Matilla dan Abraham, 1998).

Fluktuasi yang tidak diinginkan membentuk grafik turun yang bersifat sementara pada histogram pekerja. Jenis fluktuasi ini dapat digambarkan seperti lembah pada histogram kebutuhan pekerja. Pada jenis fluktuasi ini, kontraktor dipaksa untuk : (1) memulangkan pekerja dan kemudian memanggilnya kembali disaat dibutuhkan, atau (2) menahan pekerja yang menganggur di proyek sampai ia dibutuhkan kembali di hari selanjutnya. Maka, untuk meningkatkan produktivitas pekerja dan mengurangi biaya, jenis fluktuasi ini harus dihitung dan diminimalisasi dengan cara menghitung: (1) *Release and Re-Hire* (RRH) dan (2) *Resources Idle Days* (RID).

Release and Re-Hire Metric: RRH, adalah metrik yang digunakan untuk menghitung jumlah sumber daya yang perlu dipulangkan sementara saat kebutuhan pekerja menurun dan kemudian memanggilnya kembali saat kebutuhan tenaga kerja meningkat kembali. RRH dapat dihitung dengan persamaan:

$$RRH = H - MRD = \frac{1}{2} \times HR - MRD \quad (1)$$

$$HR = \left[r_1 + \sum_{t=1}^{T-1} |r_t - r_{t+1}| + r_T \right] \quad (2)$$

dengan H = total kenaikan permintaan sumber daya harian, HR = total fluktuasi sumber daya harian, T = total durasi proyek, r_t = jumlah sumber daya pada hari ke- t , r_{t+1} = permintaan sumber daya pada hari ke- ($t+1$), r_T = permintaan sumber daya pada hari akhir proyek (T).

Resource Idle Days Metric: RID, adalah metrik yang digunakan untuk menghitung jumlah sumber daya yang menganggur (tidak produktif) selama proyek berlangsung. Metrik RID dapat dihitung dengan persamaan:

$$RID = \sum_{t=1}^T [\text{Min}\{\text{Max}(r_1, r_2, \dots, r_t), \text{Max}(r_t, r_{t+1}, \dots, r_T)\} - r_t] \quad (3)$$

dengan T = total durasi proyek, dan r_t = jumlah kebutuhan sumber daya pada hari ke- t .

Model optimasi

Metrik pemerataan sumber daya yang dikembangkan oleh El-Rayes dan Jun ini memiliki tujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (memaksimalkan penggunaan sumber daya) dengan cara menurunkan angka RRH atau RID. Tujuan selanjutnya adalah menurunkan angka kebutuhan maksimum / kebutuhan puncak tenaga kerja (MRD). Oleh karenanya, sebuah fungsi optimasi telah dirancang untuk menggabungkan bobot perencanaan (W_1) dan (W_2) untuk menurunkan angka RRH atau RID yang sekaligus meminimalisasi angka kebutuhan puncak tenaga kerja (MRD) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Min}(W_1\text{RRH} + W_2\text{MRD}) \text{ atau } \text{Min}(W_1\text{RID} + W_2\text{MRD})$$

dengan W_1 adalah bobot atau kepentingan relatif untuk RRH atau RID sedangkan W_2 adalah bobot atau kepentingan relatif untuk MRD.

Algoritma genetika

Algoritma genetika adalah simulasi dari proses evolusi Darwin dan operasi genetika atas kromosom (Kusumadewi, 2003). Algoritma genetika mengikuti prosedur atau tahap-tahap yang menyerupai proses evolusi, yaitu adanya proses seleksi, *crossover* dan mutasi. Pada setiap generasi, himpunan baru dari deretan individu dibuat berdasarkan kecocokan pada generasi sebelumnya (Goldberg, 1989). Istilah-istilah penting yang perlu diketahui dalam melakukan penyelesaian masalah menggunakan algoritma genetika yaitu:

- Genotype* (Gen) adalah sebuah nilai yang menyatakan satuan dasar yang membentuk suatu arti tertentu dalam satu kesatuan gen yang dinamakan kromosom. Dalam algoritma genetika, gen ini dapat berupa biner, integer, karakter ataupun kombinatorial.
- Kromosom adalah gabungan gen-gen yang membentuk nilai tertentu
- Allele* merupakan nilai dari gen
- Individu menyatakan suatu nilai atau keadaan yang menyatakan salah satu solusi yang mungkin dari permasalahan yang diangkat.
- Populasi merupakan sekumpulan individu yang akan diproses bersama dalam satu siklus proses evolusi.
- Generasi menyatakan satu siklus proses evolusi atau satu iterasi didalam algoritma genetika.

Algoritma genetika sangat tepat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi yang kompleks. Didalam algoritma genetika, solusi permasalahan direpresentasikan ke dalam bentuk kromosom. Tiga aspek yang penting untuk penggunaan algoritma genetika yaitu :

- Fungsi fitness.
- Implementasi representasi genetik berupa kromosom.
- Implementasi operasi genetik berupa operator crossover dan mutasi

Algoritma genetika membutuhkan beberapa parameter yang merupakan parameter kontrol genetika algoritma yang terdiri dari ukuran populasi (*popsiz*), peluang *crossover* (P_c), dan peluang mutasi (P_m). Ukuran populasi (*popsiz*) menunjukkan jumlah kromosom yang terdapat didalam populasi. Peluang *crossover* (P_c) menunjukkan kemungkinan *crossover* yang terjadi antara dua kromosom. Peluang mutasi (P_m) menunjukkan kemungkinan mutasi yang terjadi antara pada gen-gen yang menyusun sebuah kromosom. Nilai parameter ini ditentukan juga berdasarkan permasalahan yang akan dipecahkan (Kusumadewi, 2005).

Ada beberapa rekomendasi yang bisa digunakan antara lain:

1. Untuk permasalahan yang memiliki kawasan solusi cukup besar, De Jong merekomendasikan untuk nilai parameter kontrol:
(*popsiz*; P_c ; P_m) = (50; 0,6; 0,001)
2. Bila rata-rata fitness setiap generasi digunakan sebagai indikator, maka Grefenstette merekomendasikan:
(*popsiz*; P_c ; P_m) = (30; 0,95; 0,01)
3. Bila fitness dari individu terbaik dipantau pada setiap generasi, maka usulannya adalah:
(*popsiz*; P_c ; P_m) = (80; 0,45; 0,01)
4. Ukuran populasi sebaiknya tidak lebih kecil dari 30, untuk sembarang jenis permasalahan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode pengumpulan data

Data yang digunakan berupa data *master schedule* proyek yang memberikan informasi jenis kegiatan, durasi kegiatan, dan keterkaitan kegiatan serta keterangan jumlah kebutuhan tenaga kerja yang dibutuhkan setiap harinya untuk tiap jenis kegiatan. Data yang ada kemudian dibuatlah *barchart* untuk mengetahui alokasi sumber daya disetiap pekerjaan dan dibentuk histogram tenaga kerja.

Tabel 1. Data Penjadwalan Lantai B5-GF

ID	Kegiatan	Durasi (Hari)	Predecessors	Pekerja (Orang)
2370	ZONA 1	14		
2371	KOLOM	5		
2372	Pembesian	3		26
2373	Bekisting	3	2372FS - 2d	16
2374	Pengecoran	1	2373	5
2375	SHEARWALL	8		
2376	Pembesian	4	2372SS + 1d	21
2377	Bekisting	4	2376FS - 1d	11
2378	Pengecoran	1	2364FF, 2377	5
2379	BALOK DAN PELAT	7		
2380	Bekisting	4	2378FS - 2d	50
2381	Pembesian	4	2380FS - 2d	30
2382	Pengecoran	1	2381	15
2383	ZONA 2	14		
2384	KOLOM	5		
2385	Pembesian	3	2376SS + 1d	23
2386	Bekisting	3	2385FS - 2d	14
2387	Pengecoran	1	2386	5
2388	SHEARWALL	8		
2389	Pembesian	4	2385SS + 1d	7
2390	Bekisting	4	2389FS - 1d	11
2391	Pengecoran	1	2387FF, 2390	5
2392	BALOK DAN PELAT	7		
2393	Bekisting	4	2391FS - 2d	28
2394	Pembesian	4	2393FS - 2d	17
2395	Pengecoran	1	2394	10
2396	ZONA 3	14		
2397	KOLOM	5		
2398	Pembesian	3	2389SS + 1d	26
2399	Bekisting	3	2398FS - 2d	16
2400	Pengecoran	1	2399	5
2401	SHEARWALL	8		
2402	Pembesian	4	2398SS + 1d	21
2403	Bekisting	4	2402FS - 1d	11
2404	Pengecoran	1	2400FF, 2403	5
2405	BALOK DAN PELAT	7		
2406	Bekisting	4	2404FS - 2d	50
2407	Pembesian	4	2406FS - 2d	30
2408	Pengecoran	1	2407	15

Tabel 2. Data Penjadwalan Lantai 2 – top roof

ID	Kegiatan	Durasi (Hari)	Predecessors	Pekerja (Orang)
2610	ZONA 1	9		
2611	KOLOM	4		
2612	Pembesian	2	2582FS - 2d	28
2613	Bekisting	2	2612FS - 1d	32
2614	Pengecoran	1	2613	5
2615	SHEARWALL	6		
2616	Pembesian	3	2612SS + 1d	20
2617	Bekisting	3	2616FS - 1d	16
2618	Pengecoran	1	2614FF, 2617	5
2619	BALOK DAN PELAT	6		
2620	Bekisting	4	2618FS - 4d	57
2621	Pembesian	3	2620FS - 2d	37
2622	Pengecoran	1	2621	15
2623	ZONA 2	9		
2624	KOLOM	4		
2625	Pembesian	2	2595FS + 2d, 2616SS + 1d	24
2626	Bekisting	2	2625FS - 1d	27
2627	Pengecoran	1	2626	5
2628	SHEARWALL	6		
2629	Pembesian	3	2625SS + 1d	6
2630	Bekisting	3	2629FS - 1d	5
2631	Pengecoran	1	2627FF, 2630	5
2632	BALOK DAN PELAT	6		
2633	Bekisting	4	2631FS - 4d	32
2634	Pembesian	3	2633FS - 2d	21
2635	Pengecoran	1	2634	10
2636	ZONA 3	9		
2637	KOLOM	4		
2638	Pembesian	2	2608FS + 2d, 2696SS + 1d	28
2639	Bekisting	2	2638FS - 1d	32
2640	Pengecoran	1	2639	5
2641	SHEARWALL	6		
2642	Pembesian	3	2638SS + 1d	20
2643	Bekisting	3	2642FS - 1d	16
2644	Pengecoran	1	2640FF, 2643	5
2645	BALOK DAN PELAT	6		
2646	Bekisting	4	2644FS - 4d	57
2647	Pembesian	3	2646FS - 2d	37
2648	Pengecoran	1	2647	15

Proyek yang ditinjau untuk penelitian ini adalah proyek *high rise building* yang terletak di daerah Jakarta Selatan yang dilaksanakan oleh kontraktor X. Penelitian difokuskan pada tower 3 yang digunakan sebagai apartemen. Dalam penjadwalan proyek X ini, penjadwalan lantai B5 tipikal hingga GF dan penjadwalan lantai 2 tipikal hingga *top roof*. Pekerjaan struktur atas pada proyek X tower 3, dibagi menjadi 3 zona. Setiap zona memiliki jadwal yang sama yang terdiri dari pekerjaan struktur kolom, pekerjaan struktur *shearwall*, dan pekerjaan struktur dan pelat. Masing-masing pekerjaan struktur terdiri dari kegiatan pembesian yang dilakukan oleh tukang besi, kegiatan bekisting dilakukan oleh tukang kayu, dan kegiatan pengecoran dilakukan oleh tukang batu.

Metode analisis data

Data *barchart* yang telah dibentuk kemudian dilakukan perataan tenaga kerja dengan menggunakan metode algoritma genetika. Proses perataan dibantu program Evolver 7.5.

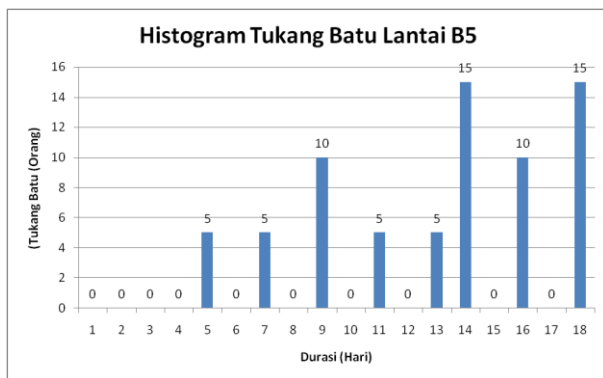
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perataan tenaga kerja hanya dilakukan pada kegiatan-kegiatan yang tidak kritis dengan mengikuti aturan *tie-breaking* (El-Rayes dan Jun, 2009) yaitu sebagai berikut :

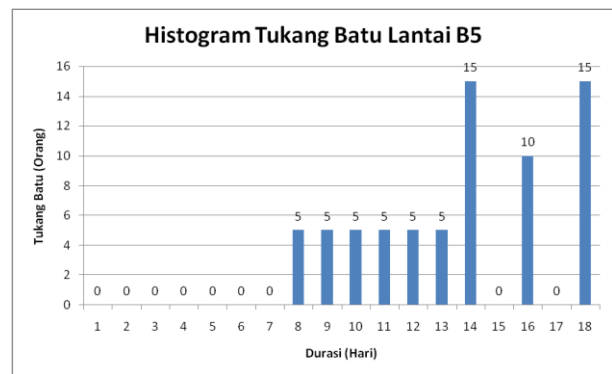
1. Pilih aktivitas tidak kritis terakhir (n^*) dengan waktu LF terakhir yang belum bergeser dalam siklus pergeseran sebelumnya.
2. Jika aturan i) menghasilkan nilai yang sama (*tie*), maka pilih aktivitas tidak kritis (n^*) dengan float terkecil.
3. Jika aturan ii) juga menghasilkan nilai yang sama (*tie*), pilih aktivitas tidak kritis terbaru (n^*) yang memiliki urutan terakhir (n)

Berdasarkan penjadwalan dengan metode PDM, diketahui bahwa kegiatan kritis untuk zona 1, 2, dan 3 pada lantai B5 hingga lantai GF terjadi pada semua kegiatan *shearwall* dan semua kegiatan balok dan pelat. Kegiatan tidak kritis terjadi pada kegiatan pembesian, bekisting, dan pengecoran kolom. Hal ini sama terjadi pada penjadwalan lantai 2 hingga lantai *top roof*.

Hasil *resource leveling* lantai B5 – GF

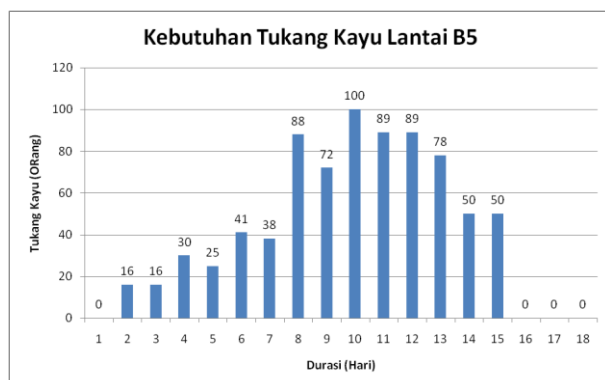


Gambar 1. Histogram tenaga kerja tukang batu lantai B5 sebelum *Resource Leveling*

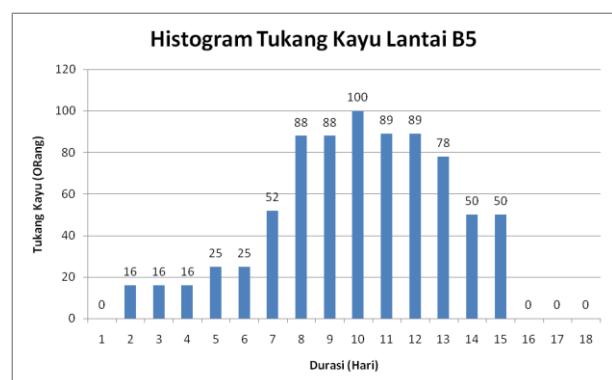


Gambar 2. Histogram tenaga kerja tukang batu lantai B5 setelah *Resource Leveling*

Pada penjadwalan awal pekerjaan pengecoran lantai B5 yang dilakukan oleh tukang batu, jumlah maksimum permintaan tenaga kerja tukang batu per hari selama proyek berlangsung (MRD) untuk lantai B5 adalah 15 orang dan total jumlah tenaga kerja per hari yang tidak produktif (RID) untuk lantai B5 adalah 75 orang, seperti terlihat pada histogram gambar 1. Setelah dilakukan perataan tenaga kerja, nilai RID tukang batu menurun menjadi 35 orang dengan nilai MRD tetap.

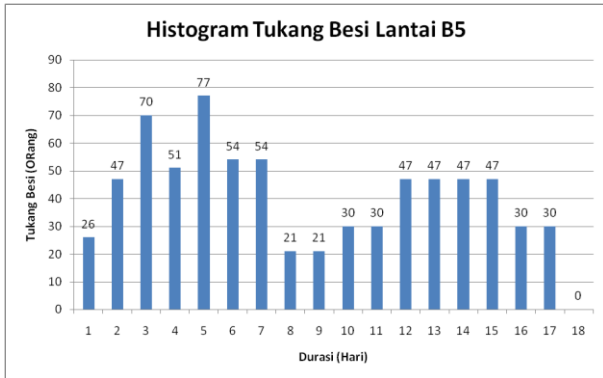


Gambar 3. Histogram tenaga kerja tukang kayu lantai B5 sebelum *Resource Leveling*

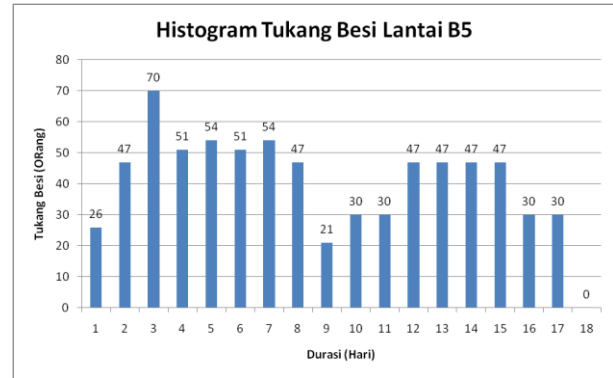


Gambar 4. Histogram tenaga kerja tukang kayu lantai B5 setelah *Resource Leveling*

Pada penjadwalan awal pekerjaan bekisting lantai B5 yang dilakukan oleh tukang kayu, jumlah maksimum permintaan tenaga kerja tukang kayu per hari selama proyek berlangsung (MRD) untuk lantai B5 adalah 100 orang dan total jumlah tenaga kerja per hari yang tidak produktif (RID) untuk lantai B5 adalah 24 orang. Setelah dilakukan perataan, histogram pekerja menjadi seperti gambar 4 dengan nilai RID tukang batu menurun menjadi 0 orang dengan nilai MRD tetap.



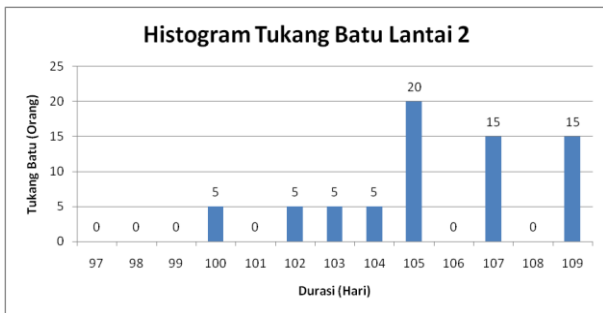
Gambar 5. Histogram tenaga kerja tukang besi lantai B5 sebelum *Resource Leveling*



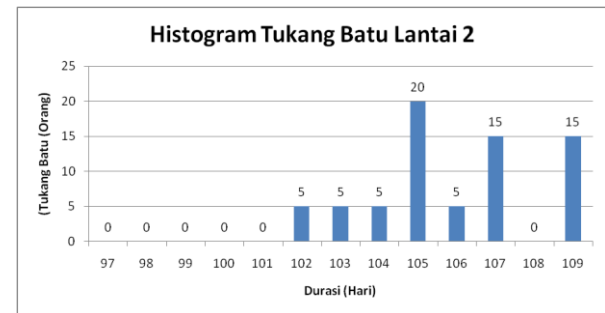
Gambar 6. Histogram tenaga kerja tukang besi lantai B5 setelah *Resource Leveling*

Pada gambar 5, pekerjaan pembesian lantai B5 yang dilakukan oleh tukang besi memiliki jumlah maksimum permintaan tenaga kerja tukang kayu per hari selama proyek berlangsung (MRD) untuk lantai B5 adalah 77 orang dan total jumlah tenaga kerja per hari yang tidak produktif (RID) untuk lantai B5 adalah 105 orang. Pada gambar 6 setelah dilakukan perataan, nilai RID tukang batu menurun menjadi 68 orang dan nilai MRD pun turun menjadi 70 orang.

Hasil *resource leveling* lantai 2 – top roof

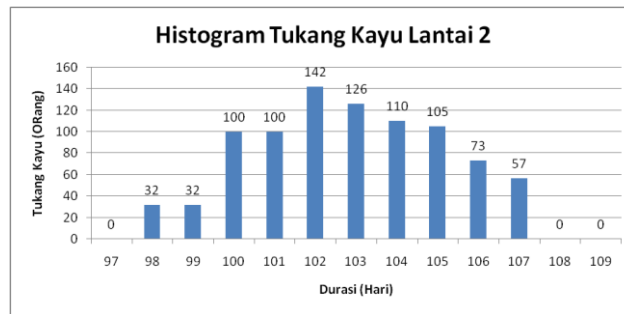


Gambar 7. Histogram tenaga kerja tukang batu lantai 2 sebelum *Resource Leveling*



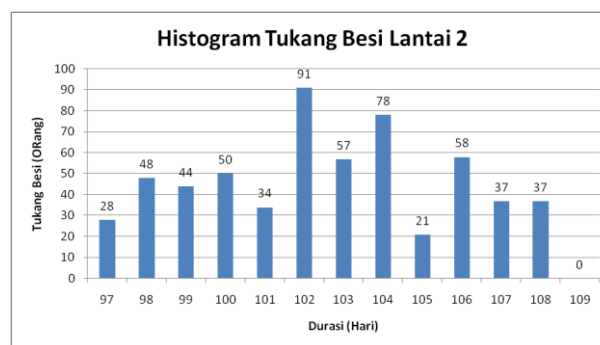
Gambar 8. Histogram tenaga kerja tukang batu lantai 2 setelah *Resource Leveling*

Seperti terlihat pada gambar 7, jumlah maksimum permintaan tenaga kerja tukang batu per hari selama proyek berlangsung (MRD) untuk lantai 2 adalah 20 orang dan total jumlah tenaga kerja per hari yang tidak produktif (RID) untuk lantai B5 adalah 35 orang. Setelah dilakukan perataan, nilai RID tukang batu menurun menjadi 25 orang dengan nilai MRD tetap.



Gambar 9. Histogram tenaga kerja tukang kayu lantai 2

Dapat dilihat pada gambar 9, banyaknya tenaga kerja tukang kayu yang tidak produktif (RID) pada jadwal awal adalah 0 orang dengan jumlah maksimum permintaan tenaga kerja tukang kayu per hari (MRD) adalah 142 orang. Hasil analisis menggunakan program menunjukkan bahwa tidak terjadi pergeseran pada *barchart*. Hal ini mengindikasikan bahwa program tidak menemukan angka yang lebih baik dari nilai fungsi objektif semula. Oleh karenanya, pada pekerjaan bekisting kolom lantai 2 tidak terjadi pergeseran.



Gambar 10. Histogram tenaga kerja tukang besi lantai 2

Berdasarkan gambar 10, banyaknya tenaga kerja tukang besi yang tidak produktif (RID) pada jadwal awal adalah 78 orang dengan jumlah maksimum permintaan tenaga kerja tukang kayu per hari (MRD) adalah 91 orang. Pekerjaan pembesian kolom pada lantai 2 tidak dapat dilakukan pergeseran karena tidak memiliki *free float* yang dikarenakan tidak terdapat pergeseran pada pekerjaan bekisting kolom lantai 2.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode algoritma genetika dapat menurunkan jumlah tenaga kerja yang tidak produktif. Hal ini ditunjukkan dengan turunnya nilai RID (*Resources Idle Days*) pada tenaga kerja tukang batu, tukang kayu, dan tukang besi.
2. Tenaga kerja tukang batu lantai B5 hingga lantai GF mengalami penurunan nilai RID dari 75 orang menjadi 35 orang dengan nilai MRD tetap.
3. Tenaga kerja tukang kayu lantai B5 hingga lantai GF mengalami penurunan nilai RID dari 24 orang menjadi 0 orang dengan nilai MRD-yang tetap.
4. Tenaga kerja tukang besi lantai B5 hingga lantai GF mengalami penurunan nilai RID dari 105 orang menjadi 66 orang dan nilai MRD berkurang dari 77 orang menjadi 70 orang.
5. Tenaga kerja tukang batu lantai 2 hingga lantai *top roof* mengalami penurunan nilai RID dari 35 orang menjadi 25 orang dengan nilai MRD tetap.
6. Tenaga kerja tukang kayu dan besi lantai 2 hingga lantai *top roof* tidak mengalami penurunan nilai RID maupun MRD.

7. Perataan tenaga kerja pada proyek X ini menghasilkan persentase penurunan kebutuhan tenaga kerja tukang besi sebesar 9,1% untuk lantai B5 hingga lantai GF.

DAFTAR PUSTAKA

- Callahan, M. T., Quackenbush, D. G., and Rowings, J. E. (1992). *Construction Project Scheduling*. New York: McGraw-Hill.
- Desiani, A. dan Arhami, M. (2005). *Konsep Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI
- El-Rayes, K., and Jun, D.H. (2009). "Optimizing Resource Leveling in Construction Projects" *J. Constr. Eng. Manage.*, 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000097
- Ervianto, Wulfram I. (2005). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Andi Offset
- Gen, M. and Cheng, R. (1997). *Genetic Algorithm and Engineering Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Goldberg, D.E. (1989). *Genetic Algorithms In Search, Optimization And Machine Learning*. New York: Addison-Wesley Publishing
- Hegazy, T. (1999). "Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Genetic Algorithms" *J. Constr. Eng. Manage.*, 125(3), 167–175.
- Kerzner, H. (1995). *Project Management: A System Approach to Planning Scheduling, and Controlling (5th Edition)*. New York: Van Nostrand Reinhold Company
- Kristanto, A. (2004). *Jaringan Syaraf Tiruan (Konsep Dasar, Algoritma, dan Aplikasi)*. Yogyakarta: Gaya Media
- Kusumadewi, Sri. (2003). *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusumadewi, Sri, dan Hari Purnomo. (2005). *Penyelesaian Masalah Oprimasi dengan Teknik-Teknik Heuristik*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Matilla, K.G., and Abraham, D.M. (1998). "Resource Leveling of Linear Schedules using Integer Linear Programming". *J. Constr. Eng. Manage.*, 124(3), 232–244.
- Nurhayati. (2010). *Manajemen Proyek*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Oberlender, G.D. (1993). *Project Management For Engineering And Construction*. New York: McGraw-Hill
- Prasetya, Hery, dan Lukiasuti, F. (2009). *Manajemen Operasi*. Jakarta: PT. Buku Kita
- Santosa, B. (2009). *Manajemen Proyek Konsep & Implementasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Santosa, B., dan Ai, T.J. (2017). *Pengantar Metaheuristik (Implementasi dengan Matlab)*. Surabaya: ITS Tekno Sains
- Schwalbe, K. (2004). *Information Technology Project Management (3rd Edition)*. Canada: Thompson
- Soeharto, I. (2001). *Manajemen Proyek Jilid 2*. Semarang: Erlangga
- Steven, J. D. (1990). *Technique for Construction Network Scheduling*. United States: McGraw-Hill Companies