

MERUBAH RANGKAIAN KEGIATAN PARALEL MENJADI BERURUTAN DENGAN METODE ALOKASI SUMBER DAYA YANG TERBATAS

Jason Felix¹ dan Onnyxiforus Gondokusumo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1 Jakarta
jason.325180143@stu.untar.ac.id

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1 Jakarta
onnyxiforusg@ft.untar.ac.id

Masuk: 16-01-2023, revisi: 17-01-2023, diterima untuk diterbitkan: 18-01-2023

ABSTRACT

Project work requires scheduling as a reference in the process. Scheduling has work carried out in parallel to shorten project work time, but sometimes parallel work can experience a shortage of resources, so that it can affect the duration of the project. One way to deal with this problem is by using the Resources-Constraint Project Scheduling Problem and Generalized Precedence Relations methods with the concept of Resource Allocation. The resource allocation method helps in converting parallel work into sequences with minimum increase in project duration, and also with limited resources. The results obtained after using the method listed, the most optimal addition of time due to this method is 14 days and with this additional time there is an equal distribution of resources in the 3rd to 9th week of the raft work on the Tokyo RiverSide. The final duration of project completion went from 71 days to 84 days, with a more stable histogram of workers adding workers.

Keywords: Scheduling, Parallel Activity resources-constraint project scheduling problem, Generalized Precedence Relations, resources allocation method.

ABSTRAK

Pekerjaan proyek membutuhkan penjadwalan sebagai acuan dalam pengerjaannya. Penjadwalan memiliki pekerjaan yang dilakukan secara paralel untuk mempersingkat waktu pekerjaan proyek, namun terkadang pekerjaan paralel dapat mengalami kekurangan sumber daya, sehingga dapat berpengaruh kepada durasi proyek. Salah satu cara untuk menghadapi permasalahan ini dengan penggunaan metode Resources-Constraint Project Scheduling Problem dan Generalized Precedence Relations dengan konsep Alokasi Sumber Daya. Metode alokasi sumber daya membantu dalam mengubah pekerjaan paralel menjadi berurutan dengan penambahan durasi proyek secara minimum, dan juga dengan sumber daya yang terbatas. Hasil yang didapat setelah menggunakan metode yang tertera, penambahan waktu akibat metode tersebut yang paling optimal adalah sebanyak 14 hari dan dengan penambahan waktu tersebut terjadi pemerataan sumber daya pada minggu ke-3 hingga minggu ke-9 pada pekerjaan raft di Tokyo RiverSide. Durasi akhir dari penyelesaian proyeknya dari 71 hari menjadi 84 hari, dengan histogram pekerja yang lebih stabil penambahan pekerjaannya.

Kata Kunci: penjadwalan, kegiatan paralel, resources-constraint project scheduling problem, *Generalized Precedence Relations*, metode Alokasi Sumber Daya.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan-pembangunan gedung, jalan dan juga infrastruktur sipil lainnya biasa disebut sebagai pekerjaan proyek. Pekerjaan proyek memiliki durasi yang harus dipenuhi, sehingga pada waktu yang telah ditentukan maka proyek akan selesai dikerjakan, dan untuk mencapai waktu penyelesaian yang telah ditentukan, maka dibutuhkan penjadwalan pada setiap proyek yang bekerja. Dapat kita artikan juga bahwa pengerjaan suatu proyek ada perlunya penjadwalan, fungsi dari penjadwalan ini adalah untuk membagi-bagi waktu dari suatu pekerjaan, membagi sumber daya yang diperlukan, sehingga pekerjaan dapat selesai pada waktu yang telah ditentukan (Stefanus & Sulistio, 2022).

Penjadwalan membutuhkan banyak hal-hal yang perlu diperhatikan seperti sumber daya manusia yang tersedia, waktu yang digunakan dalam pengerjaan sebuah pekerjaan, biaya yang dikeluarkan untuk melakukan satu pekerjaan dan masih banyak hal lain yang perlu ditinjau saat membuat penjadwalan yang teratur. Penjadwalan dalam pekerjaan proyek perlu sekali memperhatikan aspek waktu penyelesaian, oleh karena itu penjadwalan harus dilakukan secara efisien, dikarenakan hal tersebut tidak sedikit dari proyek menggunakan penjadwalan secara paralel untuk menghemat

durasi pekerjaannya dan juga untuk membagi sumber daya yang tersedia, sehingga dapat dipakai semuanya secara bersama.

Pekerjaan dalam sebuah proyek tergantung dari seberapa besarnya proyek yang dikerjakan dan juga seberapa banyak waktu yang disediakan. Semakin besar proyek yang dikerjakan maka semakin banyak pekerjaan yang dilakukan dan besar kemungkinan juga akan menyebabkan pekerjaan paralel. Dapat kita ketahui bahwa pekerjaan paralel sangat bagus untuk sebuah proyek mempersingkat waktu pengerjaannya namun dalam beberapa kasus, semakin banyaknya pekerjaan paralel yang berlangsung pada sebuah proyek, maka penggunaan sumber daya pun akan cepat terkuras habis.

Sumber daya yang dimaksud bisa berupa pekerja, maupun bahan proyek, dan jika sumber daya yang dimiliki mudah terkuras habis, hal tersebut akan berpengaruh terhadap proyek yang sedang dijalani, bisa saja proyek yang dikerjakan mengalami keterlambatan akibat sumber daya yang digunakan secara bersama-sama tersebut.

Ada beberapa cara untuk melakukan efisiensi terhadap sumber daya dan juga dengan pekerjaan paralel tersebut, salah satu metode yang dapat digunakan penerapan konsep alokasi sumber daya yang terbatas dengan mengubah rangkaian kegiatan paralel menjadi berurutan.

Konsep dari alokasi sumber daya yang terbatas dengan mengubah rangkaian kegiatan paralel ini menjadi berurutan dapat dibantu dengan beberapa metode untuk menunjang alokasi yang akan dilakukan, seperti *Resources-Constraint Project Scheduling Problem* dan *Generalized Precedence Relations* (Su et al., 2019). Kedua metode ini akan membantu kita dalam mengalokasikan sumber daya yang tersedia secara terbatas dalam sebuah proyek dengan mengubah penjadwalan pekerjaan dari paralel menjadi berurutan dengan memperhitungkan sumber daya yang digunakan, dan juga penambahan waktu akibat pekerjaan yang diubah dari paralel menjadi berurutan tidak terlalu banyak atau seminimum mungkin, hal ini tentunya akan membantu dalam pemberlakuan alokasi sumber daya yang ada.

Konsep alokasi sumber daya yang terbatas dengan mengubah penjadwalan paralel menjadi berurutan diharapkan dapat memberikan alternatif dalam pengerjaan suatu proyek, sehingga pekerjaan suatu proyek yang terhalang akan sumber dayanya dapat dihadapi dengan baik, dan penggunaan metode *Resources-Constraint Project Scheduling Problem* dan *Generalized Precedence Relations* dapat membantu dalam perhitungan alokasi sumber daya dan dari hasil perhitungan ini diharapkan juga dapat menemukan solusi paling efektif dan efisien dari pekerjaan yang sudah diubah menjadi berurutan (Kong & Dou, 2021).

Metode Alokasi Sumber Daya

Metode alokasi sumber daya merupakan metode yang digunakan untuk mengurutkan penjadwalan secara paralel menjadi berurutan, berdasarkan 2 atau lebih kegiatan. Perubahan dari paralel menjadi berurutan ini juga harus mengikuti konsep skala prioritas, yang dimana tidak boleh sembarang kegiatan diubah urutan pekerjaannya. Dan dengan dilakukannya metode ini dapat diharapkan kegiatan yang berlangsung secara paralel dengan sumber daya yang terbatas akan tersalurkan secara efektif ke berbagai kegiatan yang berlangsung.

Faktor yang perlu diperhatikan saat melakukan Metode Alokasi Sumber Daya:

- Kegiatan yang ditinjau harus bekerja secara paralel dengan pekerjaan yang lainnya
- Pekerjaan yang bekerja secara paralel harus memiliki sumber daya yang identik atau sama
- Kegiatan paralel yang bekerja akan diubah menjadi berurutan sesuai dengan skala prioritas pekerjaannya
- Jumlah pekerjaan yang bisa dilakukan dalam metode alokasi sumber daya tidak dibatasi, sehingga dapat memiliki kombinasi pengerjaan yang banyak.

Konsep Metode Alokasi Sumber Daya yang akan digunakan dalam RCPSP dengan GPR disini mengacu kepada permasalahan dalam sebuah proyek yang memiliki keterbatasan sumber daya dalam kasus ini adalah pekerja, dalam hal ini *constraint* utama dari permasalahan ini adalah pekerja yang kurang dalam keberlangsungan sebuah proyek (Christodoulou, 2017) dan penggunaan metode ini diawali dengan mengidentifikasi apakah pekerjaan yang secara paralel tersebut dapat dijadikan secara berurutan dengan disimbolkan sebagai y_{ij} .

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Jika kegiatan } i \text{ dan kegiatan } j \text{ bisa diubah secara berurutan} \\ 0, & \text{Sebaliknya} \end{cases} \quad (1)$$

Setelah diidentifikasi kegiatan i dan kegiatan j , maka kita harus mencari hubungan yang terjadi secara paralel antara kegiatan yang kita tinjau terhadap keseluruhan proyek yang berlangsung. Dan setelah itu maka kita bisa meninjau bahwa variabel y_{ij} dan keefektifan dari kegiatan (i,j) dapat dibuat seperti rumus berikut:

$$z \geq Y_{ij}(efi - lsj), \quad (i, j) \in \Omega \quad (2)$$

Pasangan kegiatan paralel yang diubah menjadi berurutan $y_{ij} = 1$ harus berbeda dengan pasangan kegiatan paralel yang lainnya, sehingga pasangan-pasangan kegiatan paralel digabung menjadi satu kesatuan rumus sebagai berikut:

$$\text{Min } z = \text{Max}\{efi-lsj, \dots, efq-lsu, 0\}, \quad (3)$$

$$(i,j), \dots, (q,u) \in \Omega$$

Min z mengindikasikan perpanjangan yang diakibatkan dari rumus 2H yang diambil dari N kegiatan paralel, dan H sebagai jumlah kegiatan paralel yang berpasangan. sehingga dapat disimbulkan juga bahwa fungsi dari Min z adalah sebagai fungsi dari rumus (2)

Untuk mengatur N kegiatan paralel dengan H sebagai jumlah pasangan kegiatan paralel dan setiap kegiatan di i hanya bisa berpasangan dengan kegiatan j dalam kegiatan A^* . Dan ketika kedua kegiatan $i, j \in A^*$, dua kegiatan yang direncanakan sebagai (i,j) atau (j,i), dengan keunikan dimana y_{ij} atau y_{ji} yang bernilai = 1 dan kegiatan satunya bernilai y_{ij} atau $y_{j} = 0$. Maka y_{ij} dapat diformulakan sebagai berikut:

$$\sum_{j \in A^*} Y_{ij} + \sum_{j \in A^*} Y_{ji} \leq 1 \quad (4)$$

Dengan adanya beberapa larangan dari kombinasi N maka rumusnya dapat dibuat menjadi berikut:

$$z \geq y_{ij}(efi - lsj), \quad i, j \in A^*, \quad i \neq j \quad (5)$$

Setelah semua rumus telah dilakukan maka rumus telah lengkap dan dapat disusun menjadi suatu kesatuan dengan kebijakan:

$$z \geq y_{ij}(efi - lsj), \quad i, j \in A^*, \quad i \neq j$$

$$\sum_{j \in A^*} Y_{ij} + \sum_{j \in A^*} Y_{ji} \leq 1 \quad (6)$$

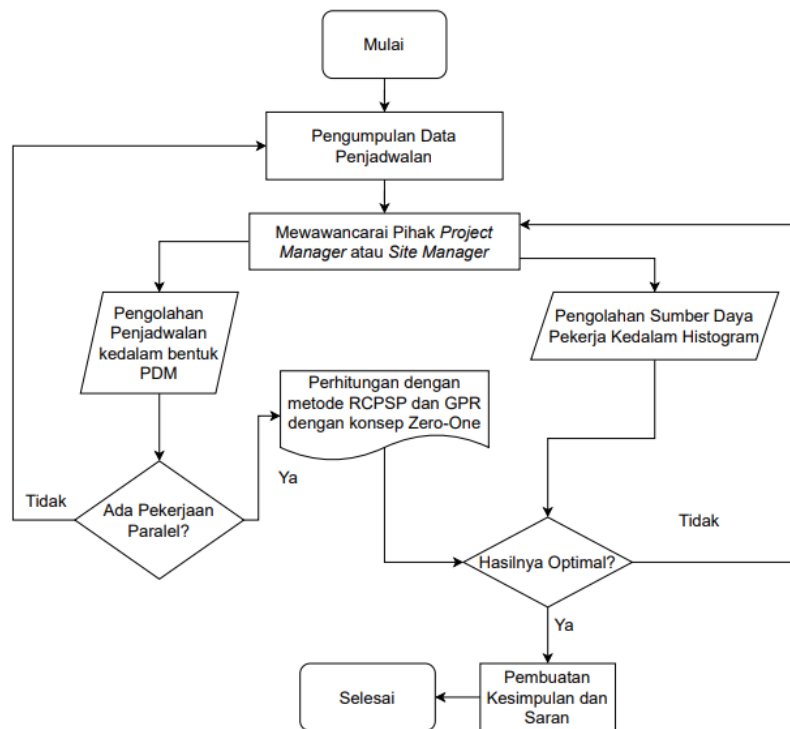
$$y_{ij} = \{0,1\}$$

Rumus yang dihasilkan adalah rumus yang akan digunakan dalam perhitungan alokasi sumber daya terbatas

2. METODE PENELITIAN

Secara garis besar, prosedur dari metode penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahapan awal yang dapat dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah dengan pengumpulan data dan penjadwalan yang dapat kita lakukan dengan mengunjungi atau mencari proyek yang sedang bekerja atau yang akan dikerjakan supaya dapat dilihat perkembangan proyeknya melalui penjadwalan yang sudah ada.
2. Mewawancarai pihak proyek untuk kelengkapan data yang ada, dalam hal ini yang diperlukan adalah pengumpulan data penjadwalan dan juga diperlukan penggunaan sumber daya yang dipakai didalam pekerjaan proyek tertera, serta memastikan urutan pekerjaan untuk dijadikan kedalam bentuk diagram yang akan digunakan dalam bentuk *arrow diagramming*, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam pengerjaan perhitungan (Araújo & Lucko, 2016).
3. Melakukan pengolahan penjadwalan kedalam bentuk PDM (*Precedence Diagramming Method*) untuk dipastikan sudah ada pekerjaan yang bekerja secara paralel atau belum jika sudah ada kita dapat melakukan tahap selanjutnya, jika belum maka kita harus mengulang pengumpulan data. Selain membentuk penjadwalan kedalam bentuk PDM diperlukan pembuatan histogram pekerja untuk pekerjaan yang sudah diubah kedalam bentuk PDM, dan diurutkan berdasarkan waktu yang sudah tertera dan mengikuti jadwal akibat perubahan bentuk di dalam PDM nya.
4. Setelah diidentifikasi adanya pekerjaan secara paralel, maka dilakukan perhitungan dengan metode yang sudah ditetapkan, dan dalam perhitungan metode ini akan adanya perubahan bentuk PDM sehingga akan berpengaruh kepada waktu dan distribusi pekerja yang ada, lalu akan dicari hasil yang optimal dari hal tersebut.
5. Jika perubahan terhadap pekerjaan PDM yang terjadi sudah dalam bentuk optimal (penambahan waktu secara minimum dan distribusi pekerja lebih rata), maka dapat dilakukan ke tahap selanjutnya. Jika tidak maka harus ditanyakan kembali ke pihak proyek untuk perhitungan yang telah dilakukan untuk dilakukan pengecekan terhadap distribusi pekerjaanya.
6. Dilakukan pembuatan kesimpulan dan saran setelah dilakukan perhitungan penambahan waktu secara minimum dan alokasi pekerja, lalu diberikan saran untuk penelitian serupa kedepannya.



Gambar 1. Diagram alir pekerjaan

Data Awal Proyek

Mengubah rangkaian kegiatan paralel menjadi berurutan diperlukannya *Master Schedule* sebagai acuan utama dalam pengerjaan metode ini, namun *master schedule* yang diperlukan harus berupa *bar chart* menurut (Al-Gahtani, 2009) dan dalam pengerjaannya, hanya sebagian kegiatan yang akan ditinjau. Pekerjaan yang ditinjau pun harus memiliki kegiatan paralel dan juga memiliki durasi yang cukup untuk diubah (Kim & de la Garza, 2005). Pekerjaan yang memiliki sumber daya yang sejenis adalah pekerjaan yang akan ditinjau dalam penggunaan metode terlampir. Data awal proyek dapat dilihat seperti berikut

Tabel 1. Tabel waktu pekerjaan proyek

PEK Raft Zone-1 Tower-10	88 days	31-03-22	07-07-22
GALIAN TANAH Tahap-1	14 days	31-03-22	13-04-22
POTONG SPUNPILE	14 days	09-04-22	22-04-22
COR TUTUP SPUNPILE	14 days	20-04-22	14-05-22
Pek. Antirayap	10 days	11-05-22	20-05-22
PAS. PASIR URUG & LANTAI KERJA	14 days	17-05-22	30-05-22
Pas. Begisting L-shape	14 days	20-04-22	14-05-22
Pas. Begisting Batu Kali	14 days	20-04-22	14-05-22
Pas. Pembesian	14 days	26-05-22	08-06-22
Pas. Compartemen	7 days	04-06-22	10-06-22
Pek. Proteksi Tenda	30 days	10-05-22	08-06-22

Didapatkan *Master Schedule* untuk pekerjaan awal proyek yang akan ditinjau lengkap dengan *time stamp* yang ada, selain itu juga didapatkan tabel jumlah pekerja, yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut

Tabel 2. Tabel waktu pekerjaan proyek

Simbol	Nama Pekerjaan	Jumlah Hari	Dari	Sampai	Jumlah Pekerja
1	Pekerjaan Raft Zone-1 Tower 10	88	31/03/2022	07/07/2022	328
A	Galian Tanah Tahap-1	14	31/03/2022	13/04/2022	40
B	Potong Spunpile	14	09/04/2022	22/04/2022	28
C	Cor Tutup Spunpile	14	20/04/2022	14/05/2022	28

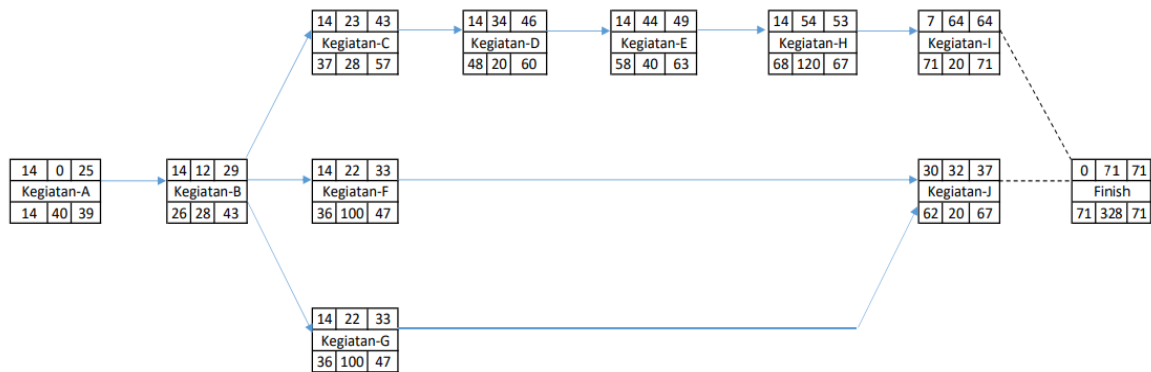
Tabel 2. Tabel waktu pekerjaan proyek (lanjutan)

Simbol	Nama Pekerjaan	Jumlah Hari	Dari	Sampai	Jumlah Pekerja
D	Pekerjaan Anti Rayap	14	11/05/2022	20/05/2022	20
E	Pas. Pasir Urug dan Lantai Kerja	14	17/05/2022	30/05/2022	40
F	Pemasangan Bekisting L-Shape	14	20/04/2022	14/05/2022	100
G	Pemasangan Bekisting Batu Kali	14	20/04/2022	14/05/2022	100
H	Pemasangan Pembesian	14	26/05/2022	08/06/2022	120
I	Pemasangan Compartemen	7	04/06/2022	10/06/2022	20
J	Pekerjaan Proteksi Tenda	30	10/05/2022	08/06/2022	20

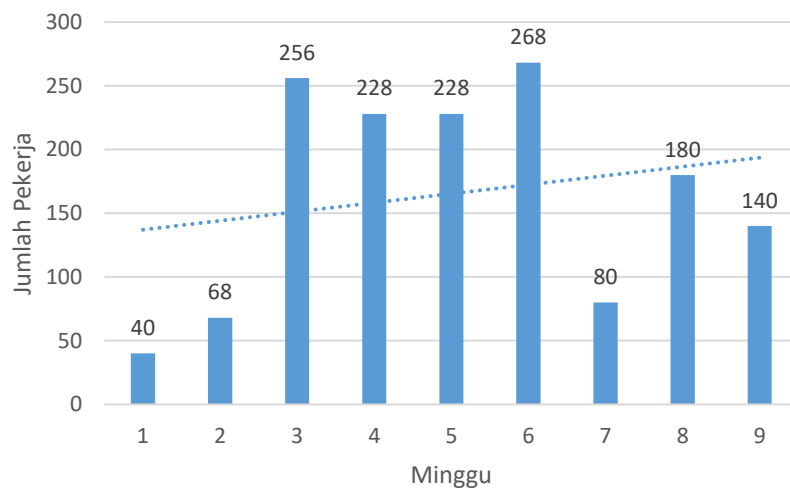
Data awal proyek ini tentunya akan menjadi dasar acuan kita dalam mengubah rangkaian kegiatan paralel menjadi berurutan dengan menggunakan metode alokasi sumber daya.

PDM dan Histogram Data Proyek

Salah satu syarat dalam pengerjaan menggunakan metode alokasi sumber daya adalah dengan mengubah *Master Schedule* ke dalam bentuk PDM menurut (Srisungnoen & Vatanawood, 2018) dan juga menjadikan data jumlah pekerja kedalam bentuk histogram seperti syarat penentuan jumlah pekerja menurut (Christodoulou et al., 2010). Hasil PDM dapat dilihat pada Gambar 2 dan Histogram pada Gambar 3 berikut



Gambar 2. Bentuk PDM awal

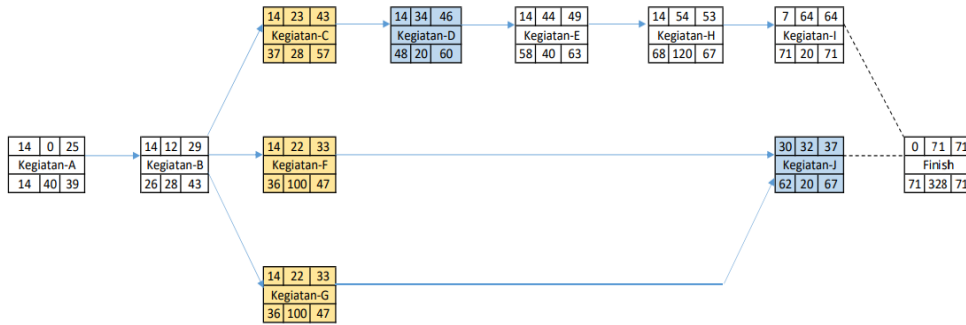


Gambar 3. Histogram pekerja awal

Didapatkan bentuk PDM dengan penambahan kegiatan *dummy* sebagai penghubung 2 kegiatan (Kelley, 1961) dan Histogram Pekerja awal sehingga kita dapat melanjutkan kedalam perhitungan menggunakan konsep alokasi sumber daya dan juga bisa menentukan pekerjaan mana yang akan diubah atau mengalami kegiatan paralel sehingga bisa kita alokasikan sumber daya yang akan dipakainya.

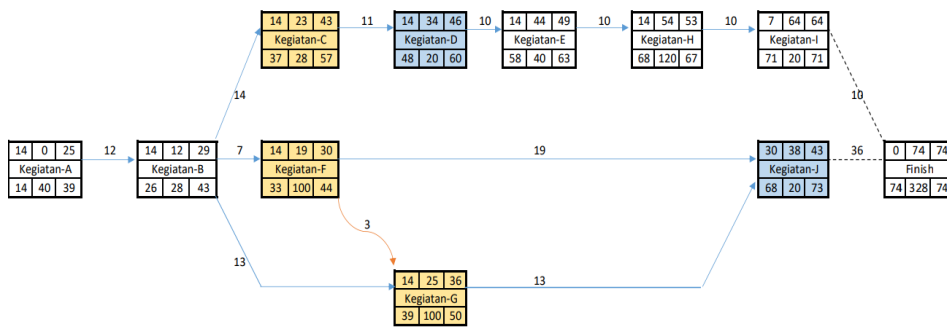
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Didapatkan hasilnya maka sebelum dilanjutkan kedalam perhitungan menggunakan metode alokasi sumber daya, menurut pertama-tama ditentukan pekerjaan yang dapat diubah dengan mengidentifikasi pekerjaan yang memiliki sumber daya yang sama seperti yang dinyatakan pada Gambar 4 berikut:

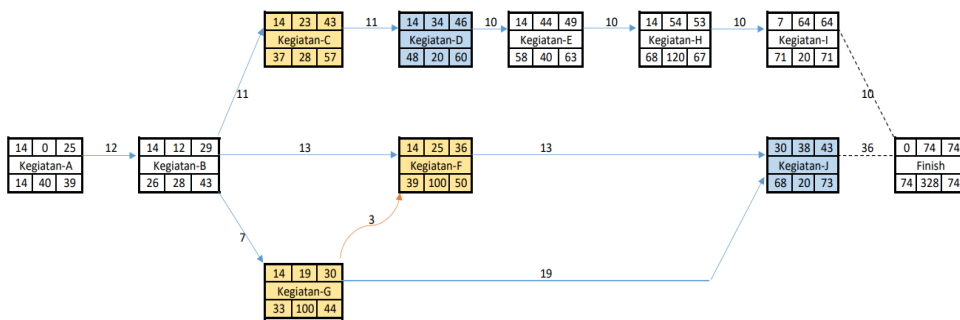


Gambar 4. PDM dengan penentuan pekerjaan yang akan diubah

Setelah dilakukan penentuan pekerjaan yang akan diubah maka selanjutnya peneliti langsung menggunakan metode alokasi sumber daya sehingga didapatkan perubahan hasil pada PDM yang bekerja, dan pekerjaan yang diubah sudah berdasarkan prioritas pekerjaan dari keseluruhan proyek yang artinya pekerjaan yang mendapatkan efektifitas waktu penambahan berdasarkan predesesor dan sukesor dari 2 atau lebih kegiatan (Moselhi & Hassanein, 2003). Hasil kombinasi dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 berikut

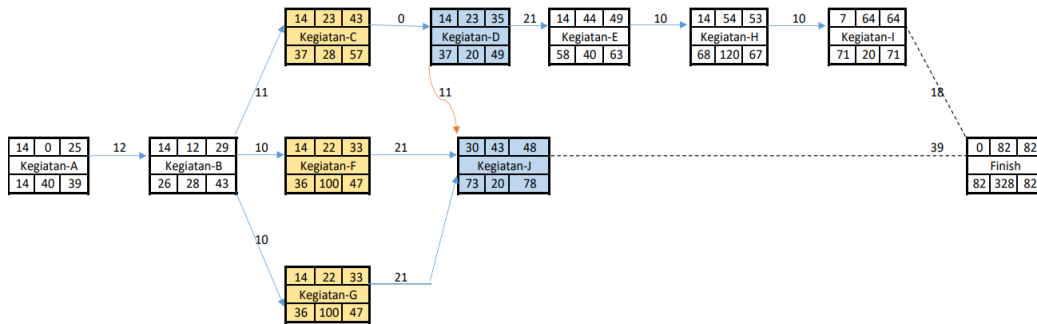


Gambar 5. PDM kombinasi 1



Gambar 6. PDM kombinasi 2

Pada Kombinasi 1 dan 2 terdapat penambahan waktu yang sama yaitu selama 3 hari dari waktu semula.

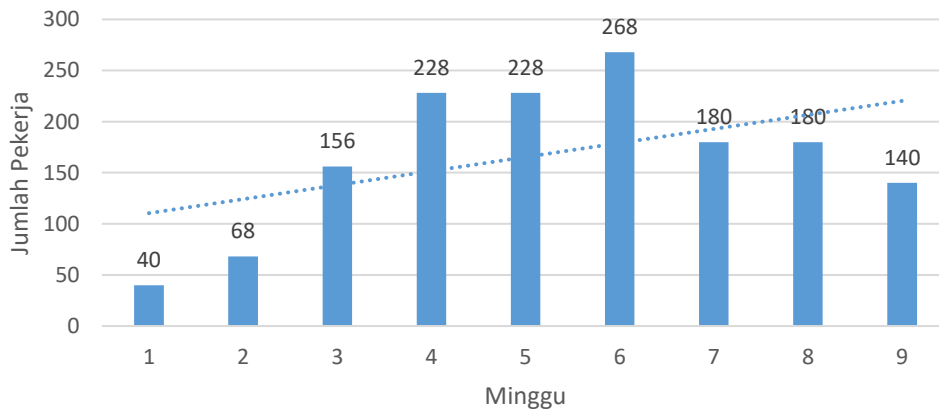


Gambar 7. PDM Kombinasi 3

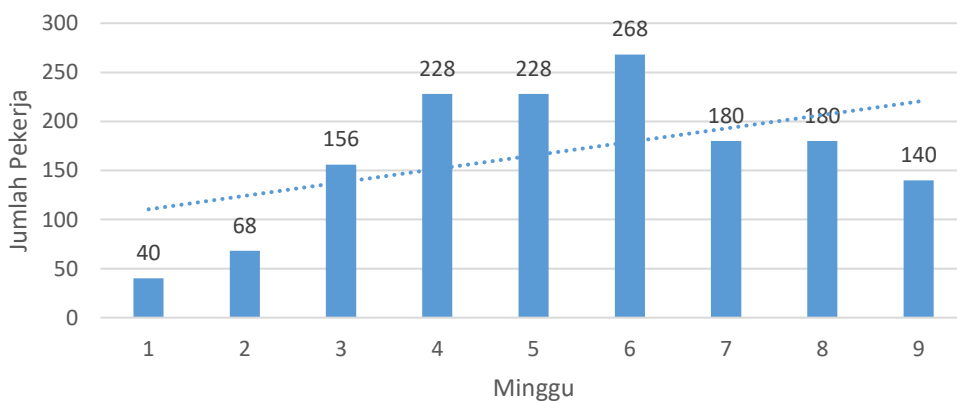
Sedangkan dalam Kombinasi 3 ditemukan terdapat penambahan waktu sebanyak 11 hari sehingga membuat kombinasi 3 memiliki penambahan waktu selesai dari semula paling lama dibandingkan 2 kombinasi sebelumnya.

Histogram

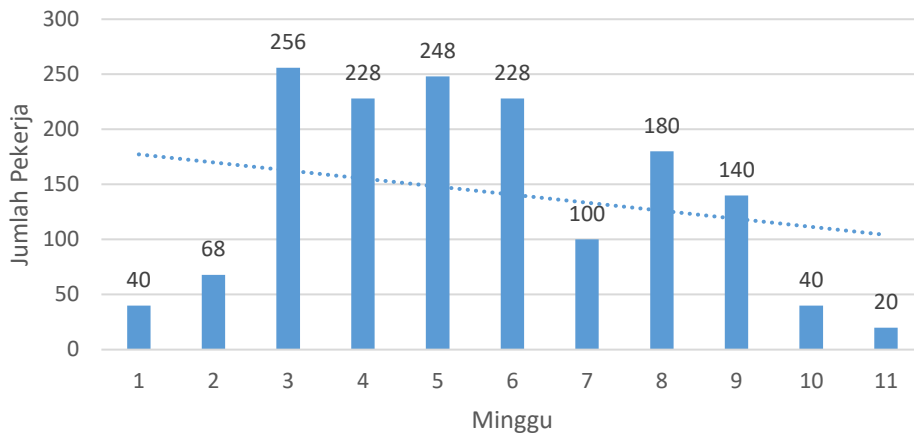
Dari hasil kombinasi-kombinasi yang sudah dibuat maka terdapat perubahan pada histogram yang digunakan. Hal ini berdampak dikarenakan adanya alokasi sumber daya akibat perubahan penjadwalan dan kegiatan pekerjaan dari paralel menjadi berurutan. Hasil histogram pekerja dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10 sebagai berikut



Gambar 8. Histogram akibat kombinasi 1



Gambar 9. Histogram akibat kombinasi 2

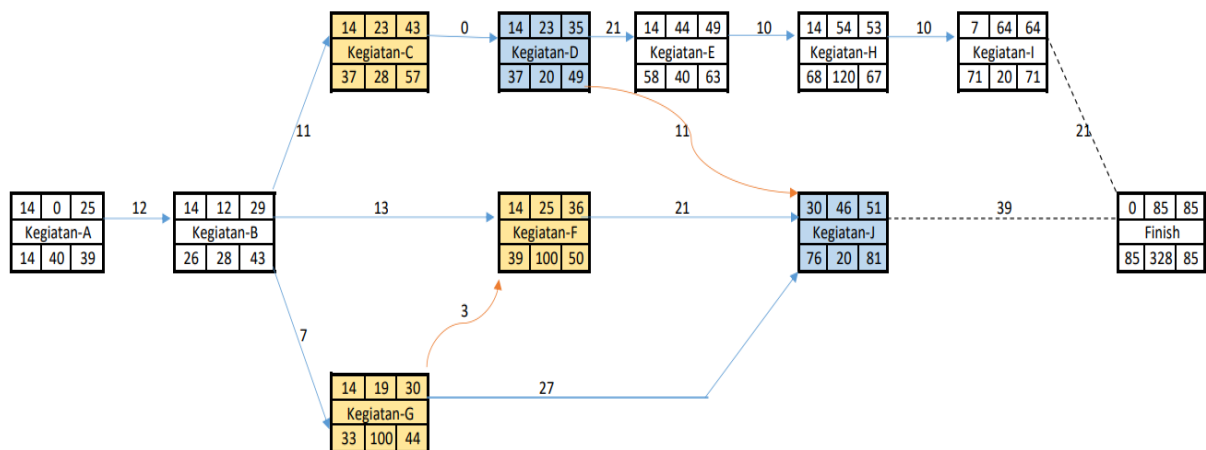


Gambar 10. Histogram akibat kombinasi 3

Hasil dari histogram kombinasi 1 dan 2 adalah identik karena berubah dan bekerja pada waktu yang sama, sedangkan untuk kombinasi 3 memiliki perubahan dengan adanya penambahan waktu sehingga alokasi sumber daya dalam histogramnya bertambah.

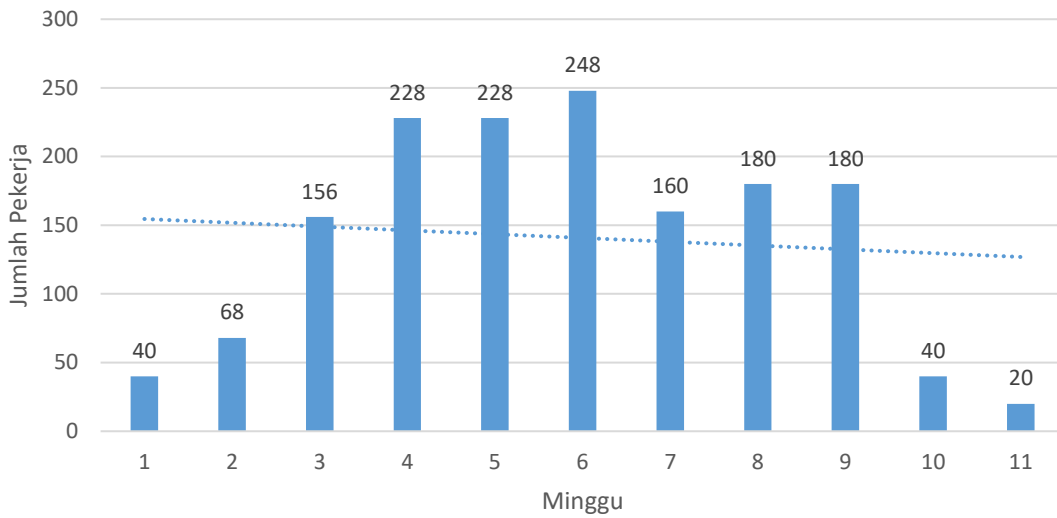
PDM dan Histogram Optimum

Dari hasil PDM dan Histogram yang didapatkan maka peneliti ingin mencari penambahan waktu yang optimum dengan cara menggabungkan 2 kombinasi dalam satu pekerjaan yaitu kombinasi 2 dan kombinasi 3, hal ini bertujuan untuk memaksimalkan perubahan kegiatan pekerjaan paralel menjadi berurutan dan ingin membuat histogram pekerjanya bekerja lebih lurus menurut (Lu & Li, 2003), sehingga hasilnya dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11 dibawah ini



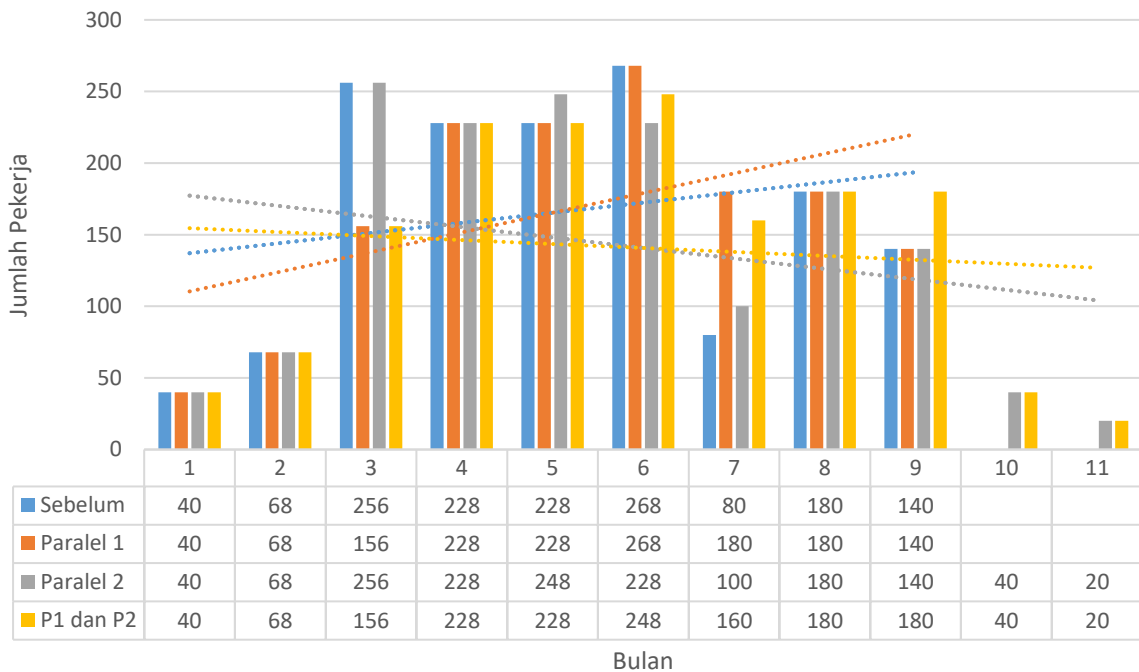
Gambar 11. PDM hasil kombinasi gabungan

Dari hasil PDM yang telah dibuat akibat gabungan kombinasi, didapatkan penambahan waktu sebesar 14 hari. Perhitungan yang dilakukan membutuhkan penambahan waktu minimum dan juga dengan alokasi sumber daya yang merata, dan dari hasil PDM ini maka histogram yang dihasilkan dapat dilihat dalam Gambar 12 berikut



Gambar 12. Histogram kombinasi gabungan

Dapat dilihat bahwa hasil histogram dari PDM gabungan ini lebih rata dibandingkan histogram dengan kombinasi lainnya. Maka dapat kita ambil perhitungan dengan kombinasi gabungan memiliki hasil paling optimal dibandingkan kombinasi lainnya, dan Histogram dengan kombinasi gabungan memiliki alokasi sumber daya paling rata dan dapat dibuktikan pada Gambar 13 berikut



Gambar 13. Perbandingan histogram

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan pada Bab 4 mengenai Perubahan Rangkaian Paralel menjadi Berurutan dan Pemerataan sumber daya maka:

- Hasil dari Perubahan Rangkaian Kegiatan Paralel menjadi Berurutan
 - Kegiatan pada awalnya berjalan selama 9 minggu dari bulan maret hingga bulan juni namun dalam jadwal awalnya direncanakan bisa diperpanjang hingga bulan Juli.

- Dari jadwal *Precedence Diagramming Method* yang digunakan ditentukan ada 2 kegiatan paralel yang terjadi, paralel 1 terdapat 3 pekerjaan yang bekerja dalam waktu yang sama dan sedangkan paralel 2 terdapat 2 pekerjaan yang bekerja dengan waktu yang berurutan atau berdampingan.
 - Terdapat 6 jenis kombinasi yang dapat dibentuk akibat kegiatan paralel 1 dan kombinasi yang digunakan pada paralel 1 adalah pekerjaan G yang dimulai terlebih dahulu dibandingkan pekerjaan F dengan penambahan waktu sebanyak 3 hari yang menyebabkan akibat paralel 1, pekerjaan raft mengalami penambahan waktu menjadi 9 minggu 3 hari.
 - Terdapat 2 jenis kombinasi yang dapat dibentuk akibat kegiatan paralel 2 dan kombinasi yang digunakan pada paralel 2 adalah pekerjaan D yang dimulai terlebih dahulu dibandingkan pekerjaan J dengan penambahan waktu sebanyak 11 hari yang menyebabkan akibat paralel 2, pekerjaan raft mengalami penambahan waktu menjadi 10 minggu 4 hari.
 - 2 kegiatan paralel digabungkan sehingga menghasilkan perubahan kegiatan yang optimal dengan penambahan waktu sebesar 14 hari yang didapat dari jumlah efektifitas waktu paralel 1 ditambah dengan jumlah efektifitas waktu paralel 2, dan hal ini menyebabkan pekerjaan raft mengalami penambahan waktu menjadi 11 minggu.
2. Hasil dari Pemerataan Sumber Daya
- Sebelum dilakukan pemerataan sumber daya terdapat penumpukan sumber daya yang terjadi pada minggu ke-3 hingga minggu ke-6 sehingga grafik histogram yang diberikan menjadi tidak terlalu rata.
 - Pemerataan sumber daya dilakukan sesuai dengan perubahan kegiatan yang berlangsung akibat adanya kegiatan paralel 1, paralel 2 dan juga paralel gabungan
 - Akibat kegiatan paralel 1 tidak terjadi penambahan waktu yang signifikan pada histogramnya dan waktu yang terjadi tetap dalam jangka waktu 9 minggu, namun terdapat perubahan seperti pada minggu ke-3 terdapat pengurangan pekerja yang cukup signifikan dan minggu ke-7 terdapat penambahan pekerja yang cukup oke sehingga terjadi pemerataan yang cukup optimal namun belum cukup rata
 - Akibat kegiatan paralel 2 terjadi penambahan waktu yang mengubah pengerjaan proyek menjadi 11 minggu sehingga ada penambahan pekerja pada minggu ke-10 dan minggu ke-11 dan perubahan yang terjadi akibat paralel 2 tidak terlalu signifikan dan itu dapat dilihat pada minggu ke-5 hingga minggu ke-7 yang jumlah pekerjanya tidak terlalu banyak berubah.
 - Akibat kegiatan paralel gabungan terjadi penambahan waktu yang mengubah pengerjaan proyek menjadi 11 minggu sehingga ada penambahan pekerja hingga minggu ke-10 dan minggu ke-11 dan perubahan yang terjadi akibat paralel gabungan ini dapat dilihat di minggu ke-3 hingga minggu ke-9 yang terjadi dan kenaikan pekerja yang sangat stabil sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa pemerataan pekerja yang paling optimal adalah akibat pekerjaan paralel gabungan.
3. Perubahan rangkaian kegiatan paralel menjadi berurutan untuk pengalokasian sumber daya yang paling optimal menggunakan pekerjaan paralel gabungan yang hanya perlu menambahkan 14 hari waktu, dan penambahan sumber daya yang lebih stabil setiap minggunya

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Gahtani, K. S. (2009). Float Allocation Using the Total Risk Approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(2), 88–95.
- Araújo, L. G., & Lucko, G. (2016). Slip Chart–Inspired Project Schedule Diagramming: Links, Extension to Network Schedules, and Unification. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(7), 1–12.
- Christodoulou, S. E. (2017). Entropy-Based Heuristic for Resource-Constrained Project Scheduling. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(3), 1–12.
- Christodoulou, S. E., Ellinas, G., & Michaelidou-Kamenou, A. (2010). Minimum Moment Method for Resource Leveling Using Entropy Maximization. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(5), 518–527.
- Kelley, J. E. (1961). Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis. *Operations Research*, 9(3), 296–320.
- Kim, K., & de la Garza, J. M. (2005). Evaluation of the Resource-Constrained Critical Path Method Algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(5), 522–532.
- Kong, F., & Dou, D. (2021). Resource-Constrained Project Scheduling Problem under Multiple Time Constraints. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(2), 1–13.
- Lu, M., & Li, H. (2003). Resource-Activity Critical-Path Method for Construction Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(4), 412–420.
- Moselhi, O., & Hassanein, A. (2003). Optimized Scheduling of Linear Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(6), 664–673. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2003\)129:6\(664\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2003)129:6(664))

- Srisungnoen, W., & Vatanawood, W. (2018). Dependency types validation of precedence diagram method using ontology. *Engineering Journal*, 22(5), 155–169.
- Stefanus, K., & Sulistio, D. H. (2022). Pengaruh Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi Dan Protokol Kesehatan Covid-19 Terhadap Kinerja Waktu. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(1), 71–86.
- Su, Z.-X., Wei, H.-Y., Zou, X., & Qi, J.-X. (2019). Zero-One Formulation for a Partial Resource-Constrained Project Scheduling Problem with Generalized Precedence Relations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(3).

