

SURAT TUGAS

Nomor: 360-R/UNTAR/PENELITIAN/VIII/2022

Rektor Universitas Tarumanagara, dengan ini menugaskan kepada saudara:

ARIANTI SUTANDI, Ir., M,Eng..

Untuk melaksanakan kegiatan penelitian/publikasi ilmiah dengan data sebagai berikut:

Judul : ANALISIS PERCEPATAN PROYEK MENGGUNAKAN METODE TIME COST TRADE OFF - STUDI KASUS APARTEMEN COLLINS BOULEVARD
Nama Media : JURNAL MITRA TEKNIK SIPIL
Penerbit : PRODI SARJANA TEKNIK SIPIL FT UNTAR
Volume/Tahun : 5/2/2022
URL Repository : <https://journal.untar.ac.id/index.php/jmts/issue/view/497>

Demikian Surat Tugas ini dibuat, untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dan melaporkan hasil penugasan tersebut kepada Rektor Universitas Tarumanagara

21 Agustus 2022

Rektor



Prof. Dr. Ir. AGUSTINUS PURNA IRAWAN

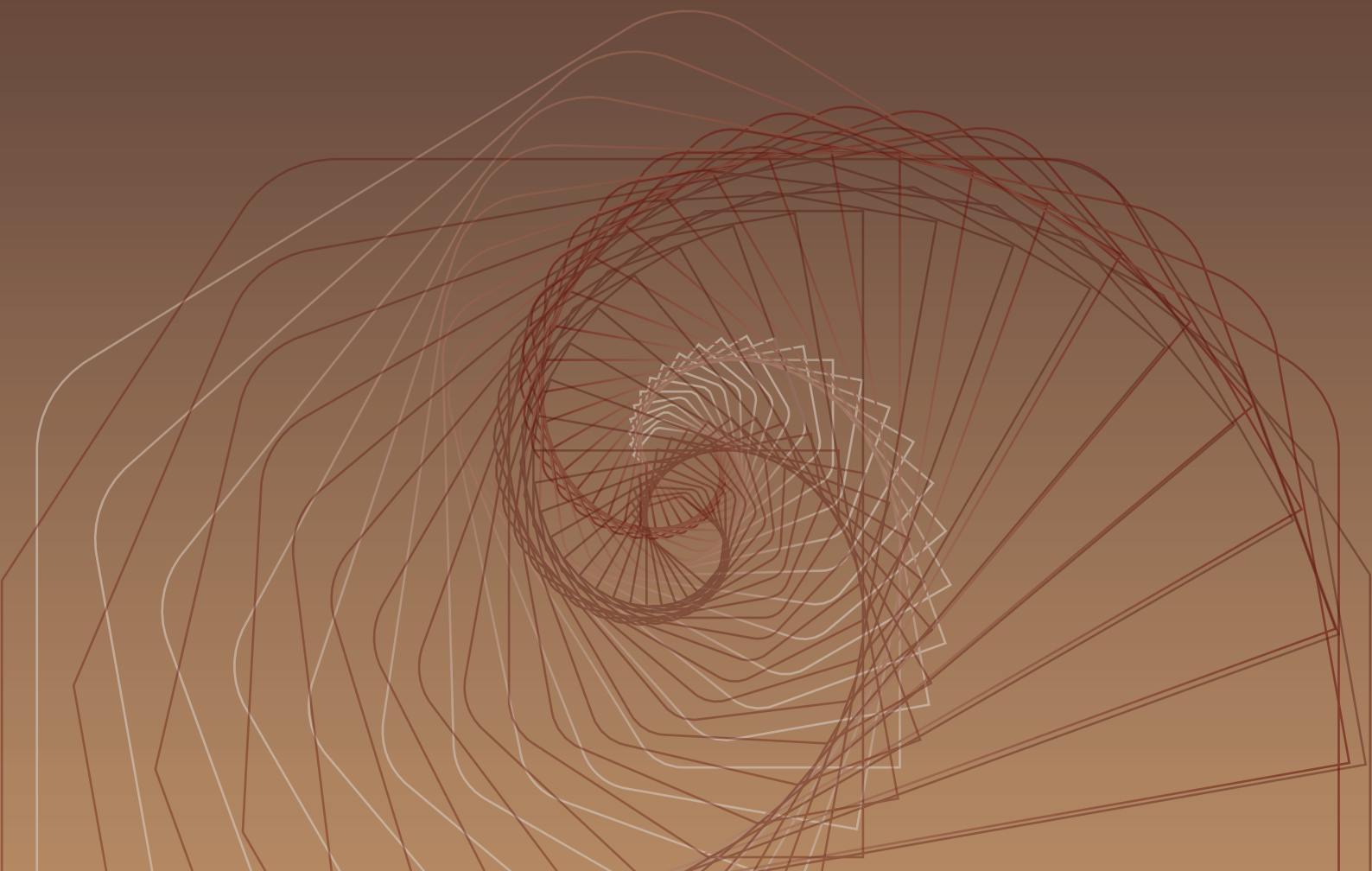
Print Security : 8ef8d81bc23d38432220c0631a5e8e57

Disclaimer: Surat ini dicetak dari Sistem Layanan Informasi Terpadu Universitas Tarumanagara dan dinyatakan sah secara hukum.

JMITS

JURNAL MITRA TEKNIK SIPIL

Volume 5 No. 2 Mei 2022



e-ISSN : 2622-545X

Program Studi Sarjana Teknik Sipil UNTAR

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil

Volume 5, Nomor 2, Mei 2022

Redaksi

Ketua Penyunting	Dr. Widodo Kushartomo
Dewan Penyunting	Ir. Aniek Prihatiningsih, M.M. Dr. Ir. Mega Waty, M. T. Daniel Christianto, S.T., M.T. Ir. Henny Wiyanto, M.T. Ir. Niluh Putu Shinta Eka Setyarini, M.T.
Penyunting Pelaksana	Vittorio Kurniawan Yenny Untari Liucius, S.T., M.T. Arif Sandjaya, S.T., M.T.
Mitra Bestari	Prof. Ir. Chaidir Anwar Makarim, MCE., Ph.D. (Universitas Tarumanagara) Prof. Ir. Leksmono Suryo Putranto, M.T., Ph.D. (Universitas Tarumanagara) Ir. Iwan B. Santoso, M.Eng., Ph.D. (Universitas Tarumanagara) Dr. Ir. Basuki Anondho, M.T. (Universitas Tarumanagara) Dr. Ir. Najid, M.T. (Universitas Tarumanagara) Andy Prabowo, S.T., M.T. (Universitas Tarumanagara) Dr. Ir. Wati Asriningsih Pranoto, M.T. (Universitas Tarumanagara) Prof. Ir. Roesdiman Soegiarso, M.Sc., Ph.D. (Universitas Tarumanagara) Ir. Gregorius Sandjaja Sentosa, M.T. (Universitas Tarumanagara) Dr. Oei Fuk Jin (Universitas Tarumanagara) Ir. Andryan Suhendra, M.T. (Binus University) Dr. Usman Wijaya, S.T., M.T. (Universitas Kristen Krida Wacana) Reynaldo Siahaan, S.T., M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas) Dr. Nurul Fajar Januriyadi (Universitas Pertamina)
Alamat Redaksi	Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara Alamat: Jl. Letjen S. Parman No.1, Jakarta Barat, 11440 Kampus 1 Gedung L Lantai 5 Telepon: 021-5672548 ext.331 E-mail: jmts@untar.ac.id

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil

Volume 5, Nomor 2, Mei 2022

Kata Pengantar

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil (E-ISSN 2622-545X) merupakan jurnal *peer-reviewed* yang dipublikasikan oleh Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara sebagai wadah peneliti, mahasiswa, dan dosen dari dalam maupun luar UNTAR untuk mempublikasikan makalah hasil penelitian dan studi ilmiah dalam bidang Teknik Sipil.

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil mempublikasikan artikel ilmiah pada bidang Teknik Sipil dengan sub-bidang sebagai berikut:

- Struktur
- Material Konstruksi
- Geoteknik
- Sistem dan Teknik Transportasi
- Manajemen Konstruksi
- Keairan

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil terbitan Volume 5 Nomor 2 bulan Mei 2022 merupakan terbitan ke-16 sejak terbitan pertama pada Agustus 2018. Penerbitan JMTS dilakukan secara berkala setiap 3 bulan, yaitu pada bulan Februari, Mei, Agustus, dan November.

Dalam sejarah pelaksanaannya, makalah yang diterbitkan pada JMTS mengalami beberapa perubahan template penulisan untuk menghasilkan kualitas penulisan yang lebih baik, di antaranya penambahan abstrak dalam bahasa Inggris dan perubahan style referensi yang semula Harvard menjadi MLA dan sekarang menjadi APA. Sejak terbitan Volume 3 Nomor 1 bulan Februari 2020, semua makalah diproses secara penuh melalui Open Journal System yang dimulai dari proses *submission*, *reviewing*, *editing*, dan *publishing*.

Penerbitan jurnal ini dapat berlangsung secara maksimal berkat kontribusi berbagai pihak. Kami kepada tim editor yang telah membantu mengawal proses penerbitan. Penghargaan juga kami sampaikan kepada para Reviewer yang telah berkenan memberikan saran perbaikan untuk menjaga kualitas jurnal. Semoga jurnal ini dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu Teknik Sipil.

Salam,

Tim Redaksi Jurnal Mitra Teknik Sipil

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil

Vol. 5 No. 2, Mei 2022

Daftar Isi

ANALISA KAPASITAS WADUK DURIANGKANG DAN WADUK MUKAKUNING UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN AIR MASYARAKAT KOTA BATAM <i>Alvin Timothy Siregar dan Wati Asriningsih Pranoto</i>	287-302
ANALISIS FAKTOR-FAKTOR PADA MASA PANDEMI COVID-19 YANG MEMPENGARUHI PRODUKTIVITAS PEKERJA KONSTRUKSI <i>Julio Anthony dan Basuki Anondho</i>	303-312
STUDI KONFIGURASI SUSUNAN & MATERIAL PENGISI PADA BAN BEKAS SEBAGAI SOLUSI ALTERNATIF DINDING PENAHAN TANAH <i>Michael Limanow dan Andryan Suhendra</i>	313-328
ANALISIS DAYA DUKUNG FONDASI DANGKAL JALAN RAYA DI ATAS TANAH <i>CLAYSHALE</i> <i>Kenji Kasan Putra dan Chaidir Anwar Makarim</i>	329-340
ANALISIS FONDASI AKIBAT BEBAN DINAMIK MESIN GENSET DI JAKARTA TIMUR DAN TANGERANG <i>Theodore Seamditia, Hendy Wijaya, dan Amelia Yuwono</i>	341-348
ANALISIS EFEKTIVITAS <i>MICROPILE</i> DAN <i>STRAUSS PILE</i> UNTUK MEMPERBESAR DAYA DUKUNG FONDASI <i>Marco Chandra Winata dan Alfred Jonathan Susilo</i>	349-358
STUDI PARAMETRIK DENGAN RESPONS SPEKTRUM TERHADAP DEFORMASI DINDING DIAFRAGMA PADA BASEMENT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA <i>Kenny Erick dan Alfred Jonathan Susilo</i>	359-372
ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN DAN PENURUNAN SISTEM FONDASI <i>SLAB ON GRADE</i> DENGAN SISTEM FONDASI <i>SUSPENDED</i> PADA TANAH REKLAMASI TIMBUNAN <i>Kris Timothy Kimadha dan Aniek Prihantiningasih</i>	373-384
KETEBALAN OPTIMAL KACA PADA PENGAPLIKASIAN AKUARIUM DAN <i>GLASSPOND</i> <i>Jimmy Leonardy Lim dan Wati Asriningsih Pranoto</i>	385-390
ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN DINDING PENAHAN TANAH DENGAN VARIASI KONSISTENSI TANAH ASLI DAN TANAH TIMBUNAN <i>Valencia Renata dan Aniek Prihatiningsih</i>	391-400
STUDI PERBANDIGAN TEKANAN LATERAL TANAH SEDANG DAN TANAH AMAT LUNAK <i>Alexandro Kevin Wijaya dan Chaidir Anwar Makarim</i>	401-414

ANALISIS PERBANDINGAN PERBAIKAN TANAH <i>DEEP MIXING</i> ANTARA APLIKASI <i>FINITE ELEMENT</i> DUA DIMENSI DENGAN TIGA DIMENSI <i>Vincentius Felix Rimbani dan Giovanni Pranata, Ali Iskandar</i>	415-424
ANALISIS <i>FINITE ELEMENT</i> DEFORMASI <i>RIGID INCLUSION</i> DENGAN DAN TANPA <i>INCLUSION CAPS</i> DI TIMBUNAN BATUBARA <i>Muhammad Farrel Mahran Arry, Ali Iskandar, dan Giovanni Pranata</i>	425-434
KORELASI HASIL PENGUJIAN NILAI CBR DAN NILAI DCP PADA TINGKAT <i>PLASTICITY INDEX</i> TERTENTU <i>Alfian Pramaditya Ershano dan Gregorius Sandjaja Sentosa</i>	435-442
ANALISIS RIWAYAT WAKTU FONDASI TIANG TUNGGAL DAN KELOMPOK DI TANAH LUNAK <i>Albert Gandarasa, Hendy Wijaya, dan Amelia Yuwono</i>	443-456
ANALISIS R , Ω_0 , C_D PADA STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN <i>MULTISTORY X-BRACING</i> MENGGUNAKAN METODE <i>PUSHOVER</i> <i>Vryscilia Marcella dan Daniel Christianto</i>	457-468
ANALISIS NILAI FAKTOR DAKTILITAS DENGAN METODE <i>PUSHOVER</i> DENGAN PERKUATAN BRESING DIAGONAL TUNGGAL <i>Maria Kevinia Sutanto dan Daniel Christianto</i>	469-480
EVALUASI TINGKAT PELAYANAN JALAN STUDI KASUS: JALAN GATOT SUBROTO JAKARTA <i>Ivan Kurniawan dan Najid</i>	481-488
EVALUASI TINGKAT PELAYANAN JALAN STUDI KASUS: JALAN JENDERAL SUDIRMAN JAKARTA <i>Hendy Putera Winata dan Najid</i>	489-496
ANALISIS PERCEPATAN PROYEK MENGGUNAKAN METODE <i>TIME COST TRADE OFF</i> - STUDI KASUS APARTEMEN COLLINS BOULEVARD <i>Christoforus Reynaldi dan Arianti Sutandi</i>	497-506
EVALUASI JALAN KYAI TAPA MENGGUNAKAN METODE <i>INTERNATIONAL ROAD ASSESSMENT PROGRAMME</i> DAN AUDIT KESELAMATAN JALAN <i>Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini, dan Gilbert Lie</i>	507-518
ANALISIS PENGARUH JUMLAH PENGAKU TERHADAP PERILAKU BALOK KASTELELA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA <i>Havi Yoga Prastyo dan Leo S. Tedianto</i>	519-532
ANALISIS TINGKAT PENERAPAN KONSTRUKSI HIJAU DAN FAKTOR KENDALANYA PADA PROYEK GEDUNG <i>Albert Nogo Susilo dan Oei Fuk Jin</i>	533-546
IDENTIFIKASI FAKTOR DOMINAN YANG MEMPENGARUHI PERMINTAAN <i>EXCAVATOR</i> PADA PROYEK GEDUNG BERTINGKAT DI MASA PANDEMI <i>Vinka Tania Latif dan Basuki Anondho</i>	547-554

ANALISIS PERILAKU PELAT KANTILEVER BETON BERTULANG DENGAN BUKAAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA <i>Daniel Evan Christopher dan Leo S. Tediato</i>	555-564
ANALISIS <i>PUSHOVER</i> PADA STRUKTUR BETON DENGAN <i>EXTERNAL PRESTRESSING</i> UNTUK TRANSFER GAYA AKSIAL <i>Daniel Christianto, Christopher Felix, Maria Kevinia, dan Vryscillia Marcella</i>	565-578
PERSEPSI PENGGUNA TERHADAP RENCANA PENGEMBANGAN ANGKUTAN DALAM KAWASAN LIPPO KARAWACI VILLAGE TANGERANG <i>Josua Wicaksana, Dewi Linggasari, dan Hokbyian R. S. Angkat</i>	579-586
ANALISIS PENGARUH BENTUK BUKAAN PADA PELAT LENTUR DENGAN METODE ELEMEN HINGGA <i>Prem Singh dan Leo S. Tediato</i>	587-596

ANALISIS PERCEPATAN PROYEK MENGGUNAKAN METODE *TIME COST TRADE OFF* - STUDI KASUS APARTEMEN COLLINS BOULEVARD

Christoforus Reynaldi¹ dan Arianti Sutandi²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1, Jakarta, Indonesia
Christoforus.325180098@stu.untar.ac.id

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

Masuk: 15-01-2022, revisi: 15-04-2022, diterima untuk diterbitkan: 18-04-2022

ABSTRACT

Construction project activity is bound by a limited period of time by allocating certain resources and is intended to produce products with planned quality criteria. The Collins Boulevard Apartment project was 91 days behind schedule. To reduce delays that occur, acceleration is carried out on critical work which can be seen on the project network. When accelerating critical work, the cost factor must be considered so that the addition of minimum costs without neglecting the quality of the project. In this study, project acceleration was carried out using the time cost trade off method using 3 strategies, namely; additional labor (strategy 1), additional working hours (strategy 2), and a combination of additional labor and working hours (strategy 3), with the aim of know the most optimal acceleration strategy. The results showed that the acceleration that can be done is 36 days, while the optimal acceleration strategy is strategy 3, namely; the addition of 56 workers and an additional hour of work with an estimated cost increase of Rp. 81.400.000.

Keywords: delay; time cost trade off; duration speed up; addition of labor; addition of working hours

ABSTRAK

Kegiatan proyek konstruksi adalah suatu kegiatan yang terikat oleh jangka waktu yang terbatas dengan mengalokasikan sumber daya tertentu dan dimaksudkan untuk menghasilkan produk dengan kriteria mutu yang telah direncanakan. Proyek Apartemen Collins Boulevard mengalami keterlambatan 91 hari dari rencana awal. Mengurangi keterlambatan yang terjadi dapat dilakukan percepatan pada pekerjaan kritis yang dapat dilihat pada jaringan kerja proyek. Percepatan pada pekerjaan kritis harus memperhatikan faktor biaya agar penambahan biaya minimum tanpa mengabaikan mutu proyek. Percepatan proyek pada penelitian ini dilakukan dengan metode *time cost trade off* dengan menggunakan 3 strategi yaitu: penambahan tenaga kerja (strategi 1), penambahan jam kerja (strategi 2), serta kombinasi penambahan tenaga kerja dan jam kerja (strategi 3), dengan tujuan untuk mengetahui strategi percepatan yang paling optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa percepatan yang dapat dilakukan adalah 36 hari, sedangkan strategi percepatan yang optimal adalah strategi 3 yaitu; dengan maksimum penambahan 56 tenaga kerja dan penambahan satu jam kerja dengan perkiraan pertambahan biaya sebesar Rp. 81.400.000.

Kata kunci: keterlambatan; *time cost trade off*; percepatan durasi; penambahan tenaga kerja; penambahan jam kerja

1. PENDAHULUAN

Kegiatan proyek konstruksi adalah kegiatan yang bertujuan untuk menghasilkan produk dengan standar kualitas yang direncanakan yang terikat dalam jangka waktu terbatas melalui alokasi sumber daya tertentu. Implementasi proyek yang sukses merupakan tujuan penting bagi kontraktor dan pemilik proyek (Soeharto, 2001).

Hubungan waktu-biaya merupakan dua hal yang tidak dapat dipisahkan, proyek harus diselesaikan dengan biaya yang tidak melebihi anggaran, dan berjalan sesuai dengan senggang waktu yang ditentukan sehingga keduanya saling mempengaruhi. Mengurangi waktu kerja dapat meningkatkan biaya langsung seperti biaya tenaga kerja, biaya material, dan peralatan kerja.

Keterlambatan proyek konstruksi dapat didefinisikan sebagai penyelesaian proyek yang melewati batas waktu yang telah ditentukan dalam kontrak. Keterlambatan penyelesaian pelaksanaan pekerjaan proyek, penambahan upah tenaga kerja, biaya sewa alat, turunnya kualitas pekerjaan, dan masih banyak lagi dapat menimbulkan kerugian pada pihak kontraktor, konsultan, dan owner (Messah et al., 2013).

Mengurangi keterlambatan proyek yang terjadi dilakukan dengan percepatan pada pekerjaan kritis yang dapat dilihat pada jaringan kerja proyek. Percepatan pada pekerjaan kritis harus memperhatikan faktor biaya agar penambahan biaya minimum tanpa mengabaikan mutu proyek (Richsen, 2017).

Percepatan durasi pekerjaan akan menyebabkan peningkatan biaya, maka perlu mengetahui hubungan antara waktu dan biaya sesuai dengan jaringan kerja yang ada menggunakan metode *time cost trade off* untuk menganalisis waktu dan biaya. Penerapan metode *time cost trade off* pada proyek apartemen *Collins Boulevard* adalah untuk mengurangi durasi keterlambatan proyek serta mengetahui strategi yang paling optimal untuk digunakan dari segi waktu dan biaya.

Rumusan masalah

1. Bagaimana pengaruh strategi penambahan tenaga kerja dan penambahan jam kerja terhadap percepatan durasi pekerjaan struktur atas proyek Apartemen *Collins Boulevard*?
2. Strategi manakah yang menghasilkan percepatan durasi proyek yang paling optimal dari segi biaya dan waktu?

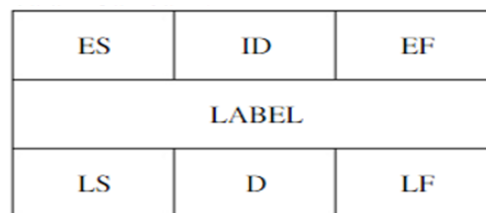
Tujuan penelitian

1. Mengetahui pengaruh strategi penambahan tenaga kerja dan penambahan jam kerja terhadap percepatan durasi pekerjaan struktur atas proyek Apartemen *Collins Boulevard*.
2. Mengetahui strategi yang menghasilkan percepatan durasi proyek yang paling optimal dari segi biaya dan waktu.

Jaringan kerja

Penelitian ini dilakukan menggunakan jaringan kerja PDM (*Precedence Diagram Method*). PDM adalah salah satu klasifikasi AON (*Activity on Node*). Ervianto (2005) menyatakan *precedence diagram method* memiliki 2 kelebihan yaitu:

- Pembuatan jaringan lebih sederhana karena tidak memerlukan kegiatan fiktif/*dummy*
- Hubungan *overlapping* yang berbeda dapat dibuat tanpa menambah jumlah kegiatan



Gambar 1. Diagram PDM (Sumber: Setiawan, 2020).

Gambar 1 menjelaskan informasi mengenai mulai dan selesainya suatu kegiatan seperti *Early Start* (ES), *Late Start* (LS), *Early Finish* (EF), dan *Late Finish* (LF). Langkah-langkah kerja metode PDM adalah sebagai berikut:

1. Denah noda dibuat sesuai dengan jumlah kegiatan
2. Noda (kegiatan) dihubungkan sesuai dengan konstrain menggunakan anak panah
3. Kegiatan kritis diidentifikasi berdasarkan perhitungan ES, EF, LS, dan LF

Biaya proyek

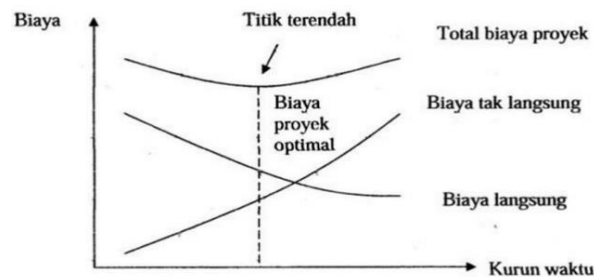
Pelaksanaan suatu proyek konstruksi dipengaruhi dua hal penting yaitu biaya proyek dan waktu. Biaya proyek konstruksi dapat dibagi menjadi dua kategori: biaya langsung dan biaya tidak langsung.

Biaya langsung (*direct cost*) ialah biaya yang diperlukan untuk pengadaan sumber daya yang akan digunakan secara langsung untuk menyelesaikan proyek. Mempercepat durasi proyek meningkatkan biaya yang dikeluarkan. (Priyo, 2018). Biaya material, biaya tenaga kerja, subkontraktor, dan biaya penggunaan peralatan/perengkapan yang terkait dengan kegiatan proyek merupakan kategori yang termasuk dalam biaya langsung (Setiawan, 2020).

Biaya tidak langsung (*indirect cost*) terkait dengan pengawasan, pengarahan kerja, dan biaya lain diluar biaya konstruksi. Biaya ini didasarkan pada durasi pekerjaan, bukan jumlah pekerjaan, biaya ini biasanya disebut sebagai biaya *overhead* (Priyo, 2018). Biaya *overhead cost*, pajak (*taxes*), *constigensicy* dan profit merupakan kategori yang termasuk biaya tidak langsung (Setiawan, 2020).

Hubungan antara biaya dan waktu

Total biaya proyek adalah jumlah biaya langsung dan tidak langsung dari proyek. Total biaya sangat tergantung pada durasi proyek. Gambar 2 yang menunjukkan hubungan antara biaya langsung, biaya tidak langsung, biaya total serta biaya optimum.



Gambar 2. Grafik hubungan biaya langsung, tak langsung, biaya total, dan waktu (Sumber: Soeharto, 2001).

Time cost trade off

Metode *time cost trade off* merupakan kompresi jadwal untuk mencapai suatu proyek yang menguntungkan dalam hal waktu, biaya, dan pendapatan. Tujuan dari metode ini adalah untuk mempercepat proyek dengan durasi yang dapat diterima dan meminimalkan total biaya proyek secara keseluruhan. Pengurangan durasi proyek dilakukan dengan memilih aktivitas tertentu.

Pada metode *time cose trade off*, menurut Setiawan (2020) terdapat beberapa strategi yang dapat digunakan untuk mengurangi waktu keterlambatan proyek konstruksi, yaitu:

1. menambah tenaga kerja.
2. menambah jam kerja (lembur).
3. Penambahan atau pergantian alat.
4. Pemilihan sumber daya yang berkualitas.
5. Pemilihan metode konstruksi yang efektif.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk mempercepat pekerjaan struktur atas proyek Apartemen *Collins Boulevard* adalah *time cost trade off*. Objek penelitian ini adalah Apartemen *Collins Boulevard* yang mengalami keterlambatan.

Data dikumpulkan melalui wawancara dengan *engineer* proyek Apartemen *Collins Boulevard*. Setelah semua data terkumpul, dilakukan percepatan menggunakan strategi penambahan tenaga kerja (strategi 1), penambahan jam kerja (strategi 2), dan penambahan tenaga kerja dan jam kerja (strategi 3) yang ada pada metode *time cost trade off*.

Tahapan penelitian meliputi:

1. Studi Pustaka dan literatur
2. Pengumpulan data: jaringan kerja *bar chart*, *shop drawing*, RAB, dll.
3. Membuat jaringan kerja PDM berdasarkan jaringan *bar chart*.
4. Menganalisis jaringan kritis berdasarkan *total float*
5. Melakukan simulasi menggunakan metode *time cost trade off*, yaitu dengan penambahan tenaga kerja (strategi1), penambahan jam kerja (strategi 2), dan penambahan tenaga kerja dan jam kerja (strategi 3)
6. Menghitung *crash duration* dan *crash cost* untuk strategi 1, 2, dan 3
7. Menghitung *cost slope* untuk strategi 1, 2, dan 3
8. Menganalisis strategi yang paling optimal dari segi biaya dan waktu
9. Kesimpulan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan yang perlu dipercepat dalam melakukan percepatan durasi proyek adalah kegiatan-kegiatan kritis yang akan mempengaruhi durasi total proyek. Pekerjaan-pekerjaan kritis sesuai dengan jaringan kerja *Precedence Diagram Method* (PDM) adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 12 Zona 1 (1 hari).
2. Pekerjaan Pembesian Balok dan Pelat Lantai 12 Zona 1 (1 hari).

3. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 12 Zona 2 dan Lantai 13 Zona 1 (1 hari).
4. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Balok dan Pelat Lantai 12 Zona 2 dan Lantai 13 Zona 1 serta Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 12 Zona 3 (1 hari).
5. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Balok dan Pelat Lantai 12 Zona 3 serta Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 13 Zona 2 dan Lantai 14 Zona 1 (1 hari).
6. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Balok dan Pelat Lantai 13 Zona 2 dan Lantai 14 Zona 1 serta Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 12 Zona 4 dan Lantai 13 Zona 3 (1 hari).
7. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Balok dan Pelat Lantai 12 Zona 4 dan Lantai 13 Zona 3 serta Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 14 Zona 2 dan Lantai 15 Zona 1 (1 hari).
8. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Balok dan Pelat Lantai 14 Zona 2 dan Lantai 15 Zona 1 serta Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 13 Zona 4 dan Lantai 14 Zona 3 (1 hari).
9. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Balok dan Pelat Lantai 13 Zona 4 dan Lantai 14 Zona 3 serta Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 15 Zona 2 dan Lantai 16 Zona 1 (1 hari).

Pekerjaan akan dilakukan secara berulang seperti pekerjaan pada No.6 dan No.7 hingga pekerjaan pada nomor dibawah ini:

10. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Balok dan Pelat Lantai 26 Zona 4 dan Lantai 27 Zona 3 serta Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 28 Zona 2 dan Lantai 29 Zona 1 (1 hari)
11. Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Balok dan Pelat Lantai 28 Zona 2 dan Lantai 29 Zona 1 serta Pekerjaan Bekisting dan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Lantai 27 Zona 4 dan Lantai 28 Zona 3 (1 hari)

Setiap pekerjaan kritis tersebut akan dilakukan percepatan durasi sebanyak satu hari dan dilihat *crash cost* pada pekerjaan-pekerjaan tersebut. Strategi yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah penambahan tenaga kerja (strategi 1), penambahan jam kerja (strategi 2), serta penambahan tenaga kerja dan jam kerja (strategi 3). Biaya material dianggap sama karena tidak menggunakan bahan material yang berbeda dengan durasi normal.

Analisis data penambahan jumlah pekerja (strategi 1)

Contoh perhitungan pada analisis penambahan jumlah tenaga kerja adalah pada pekerjaan pembesian kolom dan dinding geser zona 1 atau 2 dengan volume 7983,4682 kg dan durasi normal 3 hari.

Langkah perhitungan:

1. Tabel 1 menentukan upah pekerja durasi normal perhari.

Tabel 1. Upah Pekerja Durasi Normal Perhari Pekerjaan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Zona 1 dan 2 (Strategi 1)

Pekerja	Jumlah Pekerja	Harga Satuan Pekerja	Biaya Upah Pekerja
Mandor	1	Rp. 175.000	Rp. 175.000
Kepala Tukang	2	Rp. 160.000	Rp. 320.000
Tukang	4	Rp. 140.000	Rp. 560.000
Pekerja	10	Rp. 100.000	Rp. 1.000.000
Total Upah Pekerja Durasi Normal Perhari			Rp. 2.055.000
Total Upah Pekerja Durasi Normal Selama 3 Hari			Rp. 6.165.000

2. Produktivitas sebelum *crashing* = $\left(\frac{7983,4682 \text{ kg}}{3 \text{ hari}}\right) = 2661,16 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$
3. Produktivitas harian setelah *crashing* = $\frac{2661,16 \times (17+8)}{17} = 3913,46 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$
4. $\text{Crash duration} = \frac{7983,4682}{3913,46} = 2,04 \text{ hari} \Rightarrow 2 \text{ hari}$
5. Tabel 2 menentukan nilai *crash cost* pekerja

Tabel 2. *Crash Cost* Pekerjaan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Zona 1 dan 2 (Strategi 1)

Pekerja	Jumlah Pekerja	Harga Satuan Pekerja	Biaya Upah Pekerja
Mandor	1	Rp. 175.000	Rp. 175.000
Kepala Tukang	2	Rp. 160.000	Rp. 320.000
Tukang	(4+2)	Rp. 140.000	Rp. 840.000
Pekerja	(10+6)	Rp. 100.000	Rp. 1.600.000
Total Upah Pekerja Akibat Percepatan Perhari			Rp. 2.935.000
Total Upah Pekerja Akibat Percepatan Selama 2 Hari			Rp. 5.870.000

$$6. \text{ Cost slope} = \left(\frac{\text{Rp.}5.870.000 - \text{Rp.}6.165.000}{3-2} \right) = -\text{Rp.}295.000 \Rightarrow \text{lebih murah dari biaya normal}$$

setelah dilakukan perhitungan menggunakan strategi penambahan tenaga kerja, dibutuhkan penambahan 82 tenaga kerja untuk strategi ini. Penambahan ini sulit dilakukan setelah proyek telah berjalan karena pada saat melakukan penambahan tenaga kerja, pekerja harus memahami tentang proyek agar tidak terjadi kesalahan pada saat melakukan pekerjaan yang ditinjau. kontraktor harus melakukan seleksi terhadap penambahan pekerja tersebut. Secara teori, perhitungan *cost slope* tidak mungkin negatif, hal ini terjadi karena hanya diperhitungkan penambahan tenaga kerja tanpa memperhitungkan *direct cost* (seperti kurangnya peralatan/perlengkapan untuk mendukung penambahan tenaga kerja dan hal-hal lain yang berhubungan dengan penambahan tenaga kerja).

Analisis data penambahan jam kerja (strategi 2)

Contoh perhitungan pada analisis penambahan jam kerja adalah pada pekerjaan pembesian kolom dan dinding geser zona 1 atau 2 dengan volume 7983,4682 kg dan durasi normal 3 hari.

Langkah perhitungan:

1. Tabel 3 menentukan upah pekerja durasi normal perhari

Tabel 3. Upah Pekerja Durasi Normal Perhari Pekerjaan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Zona 1 dan 2 (Strategi 2)

Pekerja	Jumlah Pekerja	Harga Satuan Pekerja	Biaya Upah Pekerja
Mandor	1	Rp. 175.000	Rp. 175.000
Kepala Tukang	2	Rp. 160.000	Rp. 320.000
Tukang	4	Rp. 140.000	Rp. 560.000
Pekerja	10	Rp. 100.000	Rp. 1.000.000
Total Upah Pekerja Durasi Normal Perhari			Rp. 2.055.000
Total Upah Pekerja Durasi Normal selama 3 Hari			Rp. 6.165.000

2. Produktivitas sebelum *crashing* = $\left(\frac{7983,47 \text{ kg}}{3 \text{ hari}} \right) = 2661,16 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$
3. Produktivitas perjam = $\left(\frac{2661,16 \text{ kg}}{8 \text{ jam}} \right) = 332,645 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$
4. Tabel 4 menentukan produktivitas harian setelah *crashing*

Tabel 4. Koefisien Penurunan Produktivitas

Jam	Penurunan Koefisien	Prestasi
1 jam	0,1	90
2 jam	0,2	80
3 jam	0,3	70
4 jam	0,4	60

pada pekerjaan pembesian kolom dan dinding geser zona 1 dan 2 dilakukan percobaan penambahan jam kerja sebanyak 4 jam, maka produktivitas harian setelah *crashing* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas harian setelah crashing} &= (8 \times 332,645) + (4 \times (0,6) \times 332,645) \\ &= 3459,50 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$5. \text{ Crash duration} = \left(\frac{7983,47}{3459,50} \right) = 2,31 \text{ hari} \Rightarrow \text{Tidak dapat dianggap 2 hari}$$

perhitungan *crash duration* pekerjaan pembesian kolom dan dinding geser zona 1 dan 2 tidak dapat dilakukan karena tidak akan mengubah total durasi secara keseluruhan. Kemudian dilakukan perhitungan *crash duration* pada pekerjaan lainnya, didapatkan tidak ada pekerjaan yang dapat dipercepat karena tidak mengubah total durasi secara keseluruhan sehingga strategi ini tidak dapat dilakukan pada pekerjaan struktur pekerjaan atas proyek Apartemen *Collins Boulevard*.

Analisis data penambahan jumlah pekerja dan jam kerja (strategi 3)

Contoh perhitungan pada analisis penambahan jam kerja adalah pada pekerjaan pembesian kolom dan dinding geser zona 1 atau 2 dengan volume 7983,4682 kg dan durasi normal 3 hari.

Langkah perhitungan:

1. Tabel 5 menentukan upah pekerja durasi normal perhari

Tabel 5. Upah Pekerja Durasi Normal Perhari Pekerjaan Pembesian Kolom dan dinding Geser Zona 1 dan 2 (Strategi 3)

Pekerja	Jumlah Pekerja	Harga Satuan Pekerja	Biaya Upah Pekerja
Mandor	1	Rp. 175.000	Rp. 175.000
Kepala Tukang	2	Rp. 160.000	Rp. 320.000
Tukang	4	Rp. 140.000	Rp. 560.000
Pekerja	10	Rp. 100.000	Rp. 1.000.000
Total Upah Pekerja Durasi Normal Perhari			Rp. 2.055.000
Total Upah Pekerja Durasi Normal selama 3 Hari			Rp. 6.165.000

$$2. \text{ Produktivitas sebelum crashing} = \left(\frac{7983,47 \text{ kg}}{3 \text{ hari}} \right) = 2661,16 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$3. \text{ Produktivitas perjam} = \left(\frac{2661,6 \text{ kg}}{8 \text{ jam}} \right) = 332,645 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

4. Menentukan produktivitas harian setelah *crashing*

pada tahap ini dilakukan percobaan antara penambahan tenaga kerja dan penambahan jam kerja dengan memperhatikan koefisien penurunan produktivitas (Tabel 4). Pekerjaan pembesian kolom dan dinding geser zona 1 dan 2 diketahui terdapat beberapa kombinasi antara penambahan tenaga kerja dan penambahan jam kerja. Contoh perhitungan produktivitas harian pembesian kolom dan dinding geser zona 1 dan 2 setelah *crashing* adalah sebagai berikut:

- Penambahan 6 tenaga kerja dan 1 jam kerja

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas Jam Setelah Crashing} &= \frac{\text{Prod. Jam} \times \text{total tenaga kerja setelah crash}}{\text{total tenaga kerja normal}} \\ &= \frac{332,645 \times (17 + 6)}{17} \\ &= 450,0485 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas harian setelah crashing} &= (8 \times 450,0485) + (1 \times 0,9) \times 450,0485 \\ &= 4005,43 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \end{aligned}$$

Tabel 6. Produktivitas Harian Pekerjaan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Setelah *Crashing* Zona 1 dan 2 (Strategi 3)

Total Pekerja	Produktivitas Harian Setelah Crashing			Crash Duration	Ket		
	Produktivitas / Jam	Jam Lembur	Produktivitas Harian				
(17+1)	352,2118	Kg/Jam	1	3134,685	Kg/Hari	2,55	Hari
		Kg/Jam	2	3381,234	Kg/Hari	2,36	Hari
		Kg/Jam	3	3557,34	Kg/Hari	2,24	Hari
		Kg/Jam	4	3663,003	Kg/Hari	2,18	Hari
(17+2)	371,7792	Kg/Jam	1	3308,834	Kg/Hari	2,41	Hari
		Kg/Jam	2	3569,08	Kg/Hari	2,24	Hari
		Kg/Jam	3	3754,969	Kg/Hari	2,13	Hari
		Kg/Jam	4	3866,503	Kg/Hari	2,06	Hari

Tabel 7. Produktivitas Harian Pekerjaan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Setelah *Crashing* Zona 1 dan 2 (Strategi 3)(Lanjutan)

Total Pekerja	Produktivitas Harian Setelah Crashing				Crash Duration	Ket	
	Produktivitas / Jam	Jam Lembur	Produktivitas Harian				
(17+3)	391,3465	Kg/Jam	1	3482,984	Kg/Hari	2,29 Hari	
		Kg/Jam	2	3756,926	Kg/Hari	2,13 Hari	
		Kg/Jam	3	3952,599	Kg/Hari	2,02 Hari	✓
		Kg/Jam	4	4070,003	Kg/Hari	1,96 Hari	
(17+4)	410,9138	Kg/Jam	1	3657,133	Kg/Hari	2,18 Hari	
		Kg/Jam	2	3944,773	Kg/Hari	2,02 Hari	✓
		Kg/Jam	3	4150,229	Kg/Hari	1,92 Hari	
		Kg/Jam	4	4273,504	Kg/Hari	1,87 Hari	
(17+5)	430,4811	Kg/Jam	1	3831,282	Kg/Hari	2,08 Hari	
		Kg/Jam	2	4132,619	Kg/Hari	1,93 Hari	✓
		Kg/Jam	3	4347,859	Kg/Hari	1,84 Hari	
		Kg/Jam	4	4477,004	Kg/Hari	1,78 Hari	
(17+6)	450,0485	Kg/Jam	1	4005,431	Kg/Hari	1,99 Hari	✓
		Kg/Jam	2	4320,465	Kg/Hari	1,85 Hari	
		Kg/Jam	3	4545,489	Kg/Hari	1,76 Hari	
		Kg/Jam	4	4680,504	Kg/Hari	1,71 Hari	

dari Tabel 6 dan Tabel 7, didapat beberapa kombinasi antara penambahan tenaga kerja dan jam kerja yang memenuhi syarat *crash duration* yaitu 2 hari.

5. $Crash\ duration = \left(\frac{7983,47\ kg}{4005,43\ \frac{kg}{hari}} \right) = 1,99\ hari \Rightarrow Dapat\ dikatakan\ menjadi\ 2\ hari$
6. Menentukan *crash cost* penambahan tenaga kerja dan jam kerja seluruh pekerja

Tabel 8. Upah Pekerja Per Jam Kerja

Pekerja	Upah Pekerja	Upah Pekerja per jam	Upah Lembur 1 Jam	Upah Lembur 2 Jam	Upah Lembur 3 Jam	Upah Lembur 4 Jam
Mandor	Rp. 175.000	Rp. 21.875	Rp. 32.813	Rp. 76.563	Rp. 120.313	Rp. 164.063
Kepala Tukang	Rp. 160.000	Rp. 20.000	Rp. 30.000	Rp. 70.000	Rp. 110.000	Rp. 150.000
Tukang	Rp. 140.000	Rp. 17.500	Rp. 26.250	Rp. 61.250	Rp. 96.250	Rp. 131.250
Pekerja	Rp. 100.000	Rp. 12.500	Rp. 18.750	Rp. 43.750	Rp. 68.750	Rp. 93.750

Tabel 8 berisi nilai upah seluruh pekerja setiap jam untuk kondisi normal dan penambahan jam kerja. Contoh perhitungan upah lembur berdasarkan nilai upah normal per jam adalah sebagai berikut:

- Upah lembur satu pekerja untuk lembur 4 jam
 $= (1.5 \times Upah\ Normal\ Perjam) + (2 \times Jam\ Lembur \times Upah\ Normal\ Perjam)$
 $= (1.5 \times Rp. 12.500) + (2 \times 3 \times Rp. 12.500)$
 $= Rp. 93.750$

Tabel 9 menunjukkan upah penambahan 6 tenaga kerja dan 1 jam kerja pada pekerjaan pembesian kolom dan dinding geser zona 1 dan 2.

Tabel 9. *Crash Cost* Pekerjaan Pembesian Kolom dan Dinding Geser Zona 1 dan 2 Penambahan 6 Tenaga Kerja dan 1 Jam Kerja (Strategi 3)

Pekerja	Jumlah Pekerja	Harga Satuan Pekerja	Upah Lembur 1 Jam	Biaya Upah Pekerja
Mandor	1	Rp. 175.000	Rp. 32.813	Rp. 207.813
Kepala Tukang	2	Rp. 160.000	Rp. 30.000	Rp. 380.000
Tukang	(4+1)	Rp. 140.000	Rp. 26.250	Rp. 831.250
Pekerja	(10+5)	Rp. 100.000	Rp. 18.750	Rp. 1.781.250
<i>Crash Cost</i> Pekerja Akibat Percepatan Perhari				Rp. 3.200.313
<i>Crash Cost</i> Pekerja Akibat Lembur 2 hari				Rp. 6.400.626

7. Menentukan biaya untuk penerangan

Tabel 10 menunjukkan biaya bahan-bahan penerangan untuk penerangan selama penambahan jam kerja (lembur).

Tabel 10. Biaya Penerangan Untuk Penambahan Jam Kerja

Biaya Bahan Penerangan			
Lampu Sorot 100w Miyalux	Rp. 200.000 / buah	12 buah	Rp. 2.400.000
Kabel Listrik Tembaga 50 m	Rp. 268.500 / buah	4 buah	Rp. 1.074.000
Steker ARDE 13310	Rp. 9.272 / buah	12 buah	Rp. 111.264
Kabel Roll NESTAR 50 m	Rp. 850.000 / buah	4 buah	Rp. 3.400.000
Biaya Pasang Per Titik	Rp. 70.000 / titik	3 titik	Rp. 210.000
Biaya Total Bahan Penerangan			Rp. 7.195.264

Perhitungan biaya Penerangan satu zona adalah sebagai berikut:

$$\text{Lampu Sorot 100watt Miyalux} = 0,1 \text{ Kwh / Jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Lampu Sorot satu zona} &= 3 \text{ buah} \times 0,1 \text{ Kwh / Jam} \\ &= 0,3 \text{ Kwh / Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Lampu Sorot satu Jam Kerja} &= 0,3 \times \text{Rp. 1.445} \\ &= \text{Rp. 433} \end{aligned}$$

Biaya untuk setiap penambahan 1 jam kerja adalah sebesar Rp. 433

$$8. \text{ Cost slope} = \left(\frac{(\text{Rp.}3.200.313 + (\text{Rp.}433 \times 1) \times 2) - (\text{Rp.}2.055.000 \times 3)}{3 - 2} \right) = \text{Rp.}235.625$$

setelah dilakukan perhitungan penambahan tenaga kerja dan jam kerja, didapat penambahan biaya kombinasi penambahan tenaga kerja dan jam kerja pada setiap pekerjaan. Penambahan biaya untuk strategi 3 yang paling optimal adalah dengan penambahan tenaga kerja dan jam kerja (lembur) sebanyak satu jam. Tabel 11 menunjukkan *cost slope* setiap pekerjaan akibat penambahan jumlah tenaga kerja dan jam kerja (strategi 3).

Tabel 11. *Cost Slope* Tiap Pekerjaan Akibat Penambahan Jumlah Tenaga Kerja dan Jam Kerja (Strategi 3)

No.	Uraian Pekerjaan	Durasi Normal	Durasi Crash	Biaya Normal	Biaya Crash	<i>Slope Biaya</i>
1	Pembesian Kolom dan Dinding Geser Zona 1 dan 2	3	2	Rp. 6.165.000	Rp. 6.400.625	Rp. 235.625
2	Bekisting Kolom dan Dinding Geser Zona 1 dan 2	3	2	Rp. 3.045.000	Rp. 3.218.125	Rp. 173.125
3	Pembesian Balok dan Pelat Lantai Zona 1 dan 2	3	2	Rp. 7.185.000	Rp. 7.446.492	Rp. 261.492

Tabel 11 (lanjutan). *Cost Slope* Tiap Pekerjaan Akibat Penambahan Jumlah Tenaga Kerja dan Jam Kerja (Strategi 3)

No.	Uraian Pekerjaan	Durasi Normal	Durasi Crash	Biaya Normal	Biaya Crash	Slope Biaya
4	Bekisting Balok dan Pelat Lantai Zona 1 dan 2	3	2	Rp. 7.965.000	Rp. 8.158.992	Rp. 193.992
5	Pembesian Kolom dan Dinding Geser Zona 3 dan 4	3	2	Rp. 7.785.000	Rp. 8.015.625	Rp. 230.625
6	Bekisting Kolom dan Dinding Geser Zona 3 dan 4	3	2	Rp. 3.645.000	Rp. 3.931.492	Rp. 286.492
7	Pembesian Balok dan Pelat Lantai Zona 3 dan 4	3	2	Rp. 8.805.000	Rp. 9.203.992	Rp. 398.992
8	Bekisting Balok dan Pelat Lantai Zona 3 dan 4	3	2	Rp. 9.585.000	Rp. 10.058.992	Rp. 473.992

Pembahasan

Strategi percepatan yang dilakukan pada pekerjaan struktur atas proyek Apartemen *Collins Boulevard* adalah strategi penambahan tenaga kerja (strategi 1), penambahan jam kerja (strategi 2), dan penambahan tenaga kerja dan jam kerja (strategi 3). Percepatan pekerjaan pembesian bekisting kolom, dinding geser, balok, dan pelat lantai dapat dipercepat maksimal 36 hari kerja sesuai dengan jaringan kerja PDM (*Precedence Diagram Method*).

Strategi penambahan tenaga kerja (strategi 1) pada pekerjaan struktur atas proyek Apartemen *Collins Boulevard* tidak dapat dilakukan. Strategi penambahan jam kerja (strategi 2) juga tidak dapat dilakukan karena dengan penambahan 4 jam kerja tidak dapat mengurangi durasi secara keseluruhan.

Hasil optimalisasi strategi penambahan tenaga kerja dan jam kerja (strategi 3) terhadap biaya dan waktu menyatakan strategi yang paling optimal adalah dengan penambahan 56 tenaga kerja dan satu jam kerja dengan pertambahan biaya sebesar Rp. 81.400.000, yang berikutnya adalah dengan penambahan 32 tenaga kerja dan dua jam kerja dengan pertambahan biaya sebesar Rp.312.600.000.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Durasi pekerjaan struktur atas pada proyek Apartemen *Collins Boulevard* dapat dipercepat dari 220 hari menjadi 184 hari.
2. Strategi percepatan yang paling optimal untuk dilakukan pada pekerjaan struktur *typical* pada proyek Apartemen *Collins Boulevard* adalah strategi 3 dengan penambahan 56 tenaga kerja dan penambahan 1 jam kerja dengan perkiraan biaya sebesar Rp. 81.400.000.

DAFTAR PUSTAKA

- Ervianto, W. I. (2005). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Andi, Yogyakarta
- Messah, Y. A., Widodo, T., & Adoe, M. L. (2013). Kajian Penyebab Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Konstruksi Gedung di Kota Kupang. *Jurnal Teknik Statik*, 2(2), 157-168. <https://doi.org/10.35508/jts.2.2.157-168>
- Priyo, M. & Paridi, M. R. A. (2018). Studi Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Konstruksi Pembangunan Gedung Olahraga (GOR). *Semesta Teknika*, 21(1), 72-84. <https://doi.org/10.18196/st.211213>
- Richsen, K. (2017). *Optimalisasi Waktu dan Biaya dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek X* [Skripsi Tidak Diterbitkan]. Universitas Tarumanagara
- Setiawan, L. & Tamtana, J. S. (2020). Analisis Percepatan Durasi Pekerjaan Basement Semi Top Down dengan Metode Time Cost Trade Off. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(1), 143-154
- Soeharto, I. (2001). *Manajemen Proyek dari Konseptual Sampai Operasional*. Erlangga, Jakarta

