UNIVERSITAS
GADJAH MADA
OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
HALAMAN PERNYATAAN iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR NOTASI x
DAFTAR ISTILAH xii
INTISARI xviii
ABSTRACT xix
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Manfaat Penelitian 5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Studi Terdahulu 6
2.1.1 Penyelesaian TCTP dengan Pendekatan Heuristik Berbasis *Cost slope* 6
2.1.2 Penyelesaian TCTP dengan Pendekatan Metaheuristik 7
2.1.3 Penyelesaian TCTP dengan Pendekatan Eksak Berbasis Pemrograman Matematis. 8
2.2 Keaslian Penelitian 9
BAB 3 LANDASAN TEORI 11
3.1 Manajemen Proyek dan Penjadwalan Konstruksi 11
3.2 Metode Analisis Jaringan Kerja (*Network Planning*) 11
3.2.1 Konsep dasar *Critical Path Method* (CPM) 12
3.2.2 Hubungan Antar- Aktivitas dan *Lag* (*Precedence Diagram Method*) 12
3.2.3 Perhitungan Waktu Penjadwalan 13
3.2.4 Kelonggaran Waktu (*Float*) dan Lintasan Kritis 15
3.3 Biaya dalam Proyek Konstruksi 16
3.4 Hubungan Waktu dan Biaya 16
3.5 Percepatan Proyek (*Crashing*) 18
3.5.1 Strategi Percepatan 18
3.5.2 Percepatan melalui Penambahan Jam Kerja Lembur 18
3.5.3 Penurunan Produktivitas akibat Kerja Lembur 18
3.5.4 Regulasi Jam Kerja Lembur 20

UNIVERSITAS GADJAH MADA
OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.6 Optimasi dan Pemrograman Matematis 21
3.6.1 Klasifikasi Pemrograman Matematis 21
3.6.2 *Linear Programming* (LP) 22
3.6.3 *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) 23
3.6.4 Algorima Penyelesaian MILP pada Solver Modern 24
BAB 4 METODE PENELITIAN 26
4.1 Objek Penelitian 26
4.2 Prosedur Penelitian 26
4.3 Data Penelitian 28
4.3.1 Sumber Data 28
4.3.2 Penyesuaian Data Biaya dan Jadwal 28
4.3.3 Penetapan Harga Satuan 28
4.3.4 Perhitungan Produktivitas dan Biaya Tiap Mode 29
4.3.5 Konversi Relasi Depedensi 30
4.3.6 Penetapan Biaya Tidak Langsung 30
4.4 Alat Penelitian 31
4.5 Metode Analisis 33
4.5.1 Analisis Jaringan Kerja Kondisi Normal 33
4.5.2 Formulasi Model MILP 33
4.5.3 Penyelesaian Model dan Pemetaan *Time-Cost Trade Off* 36
4.5.4 Verifikasi Output Model 38
4.5.5 Skenario Analisis 39
BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 43
5.1 Pengolahan Data dan Penyiapan Input Optimasi 43
5.2 Analisis Jaringan Kerja pada Kondisi Normal 45
5.3 Hasil Optimasi Model MILP pada Kondisi Acuan 47
5.4 Verifikasi Model 50
5.5 Pemetaan *Time-Cost Trade-Off* 50
5.6 Analisis Sensitivitas Biaya Tidak Langsung 52
5.7 Perbandingan Strategi Pemilihan Mode 55
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 60
6.1 Kesimpulan 60
6.2 Saran 60
DAFTAR PUSTAKA 63
LAMPIRAN 65

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu 10
Tabel 3.1 Indeks dan Produktivitas Efektif pada Kondisi Lembur (diturunkan dari grafik Soeharto 2001) 20
Tabel 4.1 Persentase *Overhead* Proyek terhadap Nilai Proyek (Magaline *dkk.* 2015) 31
Tabel 4.2 *Benchmark* Solver pada MIPLIB2010 (220 problem, 12 thread) (Mittelmann 2019) 32
Tabel 4.3 Tabel Perbedaan Ketiga Visualisasi 40
Tabel 4.4 Ringkasan Perbedaan Ketiga Strategi 41
Tabel 5.1 Data Biaya Tidak Langsung (*Indirect Cost*) Acuan 8% 44
Tabel 5.2 *Dataset Input* ke Visual Code untuk Optimasi 44
Tabel 5.3 Hasil Predecessor *Parsing* 45
Tabel 5.4 Hasil *Forward Pass* dan *Backward Pass* 45
Tabel 5.5 Perbandingan Hasil Sebelum dan Sesudah Optimasi 47
Tabel 5.6 Alokasi Mode pada Aktivitas yang Dipercepat 48
Tabel 5.7 Ringkasan Hasil Verifikasi *Output* Model 50
Tabel 5.8 Pemetaan *Time-Cost Trade-Off* pada Kondisi Acuan (IC=8%) untuk Setiap $Dmin, Dmax, \boldsymbol{D} \in \mathbb{Z}$ 51
Tabel 5.9 Ringkasan Perbedaan Ketiga Strategi 55
Tabel 5.10 Perbandingan Solusi Optimal antar Strategi 56
Tabel 5.11 Selisih Biaya Total terhadap Strategi Kombinasi Mode pada Durasi *Feasible* 57

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Sasaran proyek sekaligus *triple constraint* (Soeharto, 1999) 11
Gambar 3.2 Hubungan Presedensi (AcqNotes LLC, 2024) 13
Gambar 3.3 Ilustrasi *lag time* dan *lead time* (Usemotion, 2023) 13
Gambar 3.4 CPM pada *network diagram* (Shuttleworth, 2017) 15
Gambar 3.5 Hubungan waktu-biaya pada keadaan normal dan *crashing* pada satu kegiatan (Soeharto, 1999) 17
Gambar 3.6 Hubungan biaya total, biaya langsung, dan biaya tidak langsung terhadap durasi proyek (Soeharto, 1999) 17
Gambar 3.7 Grafik Penurunan Produktivitas (Soeharto, 2001) 19
Gambar 3.8 Pengelompokkan Pendekatan Penyelesaian TCTP 21
Gambar 3.9 Klasifikasi Pemrograman Matematis 22
Gambar 4.1 Bagan Alir Pendekatan Modeling pada *Operations Research* (Hillier & Lieberman, 2005) 26
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian 27
Gambar 5.1 *Gantt Chart* CPM Kondisi Normal dengan Penandaan Lintasan Kritis 46
Gambar 5.2 *Gantt Chart* Hasil Optimasi dengan Penandaan Lintasan Kritis 49
Gambar 5.3 Kurva *Efficient frontier* dengan Dekomposisi Komponen Biaya pada IC=8% ... 51
Gambar 5.4 Plot Durasi Optimal P' terhadap Persentase IC 52
Gambar 5.5 Plot Biaya Total Minimum Z' terhadap Persentase IC 53
Gambar 5.6 *Efficient frontier* dengan Dekomposisi pada $IC = 1\%$ 53
Gambar 5.7 *Efficient frontier* dengan Dekomposisi pada $IC = 3\%$ 54
Gambar 5.8 *Efficient frontier* dengan Dekomposisi pada $IC = 8\%$ 54
Gambar 5.9 Perbandingan *Efficient frontier* antar Strategi pada $IC = 8\%$ 56
Gambar 5.10 Gantt Chart Hasil Optimasi Strategi {Normal, OT2} pada $D = 86$ hari 58
Gambar 5.11 Gantt Chart Hasil Optimasi Strategi {Normal, OT2} pada $D = 89$ hari 58

UNIVERSITAS GADJAH MADA
OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI

Notasi Jaringan Kerja

ES	Earliest Start, waktu mulai paling awal suatu aktivitas	hari
EF	Earliest Finish, waktu selesai paling awal suatu aktivitas	hari
LS	Latest Start, waktu mulai paling lambat tanpa menunda proyek	hari
LF	Latest Finish, waktu selesai paling lambat tanpa menunda proyek	hari
TF	Total Float, kelonggaran waktu aktivitas	hari
D	Durasi aktivitas (pada formulasi CPM, Bab III)	hari
d	Lag relasi antaraktivitas (pada formulasi CPM, Bab III)	hari

Indeks dan Himpunan

i, j	Indeks aktivitas	–
m	Indeks mode kerja	–
M	Himpunan mode kerja, M = {Normal, OT1, OT2, OT3}	–

Variabel Keputusan Model MILP

$d_{i,m}$	Jumlah hari aktivitas i dikerjakan pada mode m (variabel diskret, ≥ 0)	hari
ES_i	Waktu mulai paling awal aktivitas i (variabel kontinu, ≥ 0)	hari
EF_i	Waktu selesai paling awal aktivitas i (variabel kontinu, ≥ 0)	hari
P	Durasi pelaksanaan proyek (variabel kontinu, ≥ 0)	hari

Parameter Model

$c_{i,m}$	Biaya harian aktivitas i pada mode m	Rp/hari
$p_{i,m}$	Produktivitas harian aktivitas i pada mode m	volume/hari
V_i	Volume pekerjaan aktivitas i (sesuai satuan BoQ)	–
IC	Biaya tidak langsung bergantung waktu per hari (dinyatakan sebagai persentase terhadap nilai proyek)	Rp/hari
l	Lag relasi presedensi antaraktivitas (pada formulasi MILP, Bab IV)	hari
D	Durasi target pada pemetaan Time-Cost Trade-Off	hari
D_{min}	Batas bawah rentang durasi target feasible	hari
D_{max}	Batas atas rentang durasi target feasible (= durasi normal)	hari

Variabel Hasil Optimasi

Z	Nilai fungsi objektif model, biaya total yang relevan terhadap optimasi	Rp
Z'(D)	Biaya total minimum pada durasi target D (hasil pemetaan TCTP)	Rp
DC'(D)	Biaya langsung minimum pada durasi target D	Rp
Z'	Biaya total minimum optimum pada analisis sensitivitas IC	Rp
P'	Durasi proyek optimal pada analisis sensitivitas IC	hari

Singkatan Tipe Relasi Presedensi

FS	Finish-to-Start	–
SS	Start-to-Start	–
FF	Finish-to-Finish	–

OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SF	Start-to-Finish	–

Singkatan Mode Kerja

Normal	Mode kerja normal, 8 jam/hari tanpa lembur	–
OT1	Mode lembur 1 jam, total 9 jam/hari	–
OT2	Mode lembur 2 jam, total 10 jam/hari	–
OT3	Mode lembur 3 jam, total 11 jam/hari	–

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISTILAH

Backward Pass	Proses perhitungan mundur pada jaringan kerja untuk menentukan *Latest Start* (LS) dan *Latest Finish* (LF) tiap aktivitas dengan menelusuri jaringan dari titik akhir ke titik awal.
Baseline	Kondisi acuan penjadwalan proyek tanpa percepatan, digunakan sebagai pembanding untuk mengukur penghematan biaya dan waktu hasil optimasi.
***Bill of Quantity* (BoQ)**	Daftar rinci item pekerjaan beserta volume dan satuannya yang menjadi dasar perhitungan biaya dan durasi setiap aktivitas proyek.
Branch-and-Bound	Algoritma eksak untuk menyelesaikan model MILP yang membagi ruang solusi menjadi cabang-cabang melalui penambahan kendala (*branching*), kemudian memangkas cabang yang tidak mungkin menghasilkan solusi lebih baik dari batas terbaik saat ini (*bounding*). Menjadi inti dari solver MILP modern termasuk Gurobi.
Branch-and-Cut	Algoritma yang merupakan kombinasi dari *branch-and-bound* dan *cutting planes*, menjadi standar *solver* modern untuk mempercepat pemangkasan simpul.
Constraint	Kendala dalam model optimasi yang membatasi ruang solusi agar memenuhi kondisi yang ditetapkan, misalnya kendala presedensi, durasi maksimum, atau batas regulasi jam lembur.
Cost slope	Rasio tambahan biaya terhadap pengurangan satu satuan waktu pada suatu aktivitas, dihitung sebagai (biaya percepatan − biaya normal) / (durasi normal − durasi percepatan). Menjadi dasar pemilihan aktivitas pada metode heuristik TCTP.
Crashing	Strategi percepatan durasi proyek dengan menambahkan sumber daya pada aktivitas lintasan kritis. Pada penelitian ini, percepatan diterapkan hanya melalui penambahan jam kerja lembur.
***Critical Path Method* (CPM)**	Metode analisis jaringan kerja yang mengidentifikasi rangkaian aktivitas dengan total durasi terpanjang (lintasan kritis), yang menentukan durasi minimum proyek.
Cutting Planes	Pertidaksamaan valid (seperti *Gomory* atau *MIR cuts*) yang ditambahkan ke dalam model untuk memotong ruang solusi pecahan tanpa menghilangkan solusi bilangan bulat yang sah.
Decision variable	Variabel keputusan dalam model optimasi yang nilainya ditentukan oleh solver untuk meminimalkan atau memaksimalkan fungsi objektif sesuai kendala yang ditetapkan.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Direct cost	Biaya yang berhubungan langsung dengan pelaksanaan fisik aktivitas, mencakup material, upah pekerja, dan peralatan. Cenderung meningkat ketika aktivitas dipercepat melalui lembur.
***Discrete Time-Cost Trade-Off Problem* (DTCTP)**	Varian TCTP dengan variabel keputusan bersifat diskret (bilangan bulat) yang terbukti bersifat *strongly NP-hard* sehingga memerlukan pendekatan penyelesaian yang efisien.
Dummy activity	Aktivitas fiktif berdurasi dan berbiaya nol yang ditambahkan ke jaringan kerja sebagai titik awal (*start node*) atau titik akhir (*end node*) untuk memudahkan analisis. Pada penelitian ini, ID 0 pada dataset merupakan *dummy activity*.
***Earliest Start* (ES) / *Earliest Finish* (EF)**	Waktu paling awal suatu aktivitas dapat dimulai (ES) atau diselesaikan (EF) tanpa melanggar relasi presedensi dan merupakan hasil dari *Forward Pass*.
Efficient frontier	Kurva yang memetakan kombinasi biaya minimum pada setiap durasi proyek yang *feasible* dan merupakan representasi visual dari solusi optimum TCTP pada seluruh rentang durasi yang dipertimbangkan.
Eksak (pendekatan)	Pendekatan penyelesaian masalah optimasi berbasis pemrograman matematis yang menjamin diperolehnya solusi *optimum global*, selama model dapat diselesaikan hingga konvergen. Berlawanan dengan pendekatan heuristik dan metaheuristik yang tidak memberikan jaminan optimalitas.
Fathoming	Proses menghentikan eksplorasi pada suatu simpul (*node*) dalam pohon pencarian *branch-and-bound*. Pemangkasan dilakukan apabila batas bawah (*lower bound*) simpul tersebut melampaui nilai solusi *feasible* terbaik (*incumbent*), terbukti tidak *feasible*, atau telah menghasilkan solusi *integer* yang sah.
Feasible	Status solusi yang memenuhi seluruh kendala (*constraint*) dalam model optimasi dan menjadi syarat sebelum suatu solusi dievaluasi sebagai kandidat optimum.
***Finish-to-Start* (FS)**	Tipe relasi presedensi yang mensyaratkan aktivitas pendahulu selesai sebelum aktivitas berikutnya dapat dimulai.
Float	Kelonggaran waktu suatu aktivitas yang dapat ditunda tanpa memperpanjang durasi proyek. *Total Float* (TF) dihitung sebagai selisih antara LS dan ES (atau LF dan EF). Aktivitas pada lintasan kritis memiliki *float* bernilai nol.
Forward Pass	Proses perhitungan maju pada jaringan kerja untuk menentukan *Earliest Start* (ES) dan *Earliest Finish* (EF) tiap aktivitas dengan menelusuri jaringan dari titik awal ke titik akhir.

OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gantt Chart	Diagram batang horizontal yang menggambarkan jadwal aktivitas proyek terhadap sumbu waktu, dengan panjang batang merepresentasikan durasi aktivitas.
Global optima	Solusi terbaik mutlak pada seluruh ruang solusi yang feasible. Hanya pendekatan eksak yang dapat menjamin diperolehnya *global optima* dalam batas formulasi model, sementara metaheuristik hanya menghasilkan solusi yang mendekatinya.
Gurobi	Solver komersial untuk pemrograman matematis (LP, MILP, QP) yang mengimplementasikan algoritma *branch-and-bound*. Pada penelitian ini dipanggil melalui antarmuka PuLP di lingkungan Python.
Heuristik	Pendekatan penyelesaian berbasis aturan praktis atau prosedur manual yang dirancang untuk memperoleh solusi yang cukup baik dalam waktu komputasi singkat, namun tanpa jaminan optimalitas. Pada TCTP, metode berbasis *cost slope* termasuk dalam kategori ini.
Heurisitk Primal (*Primal Heuristics*)	Prosedur internal *solver* untuk mencari solusi *feasible* dengan cepat di dalam pohon pencarian tanpa jaminan optimalitas, berfungsi untuk mempercepat proses *fathoming*.
Incumbent	Nilai dari solusi *feasible* terbaik yang telah ditemukan oleh *solver* pada suatu titik waktu tertentu selama proses komputasi
Indirect cost	Biaya pendukung proyek yang tidak terikat aktivitas spesifik melainkan bergantung pada durasi proyek, mencakup *overhead*, gaji personel proyek, sewa direksi keet, dan utilitas. Cenderung menurun ketika durasi proyek dipersingkat.
Kombinasi mode	Strategi penjadwalan pada penelitian ini yang memperbolehkan satu aktivitas tersusun dari alokasi hari kerja pada beberapa mode sekaligus (Normal, OT1, OT2, OT3), tidak terbatas pada satu mode tunggal per aktivitas.
Lag	Tenggang waktu yang ditetapkan antara dua aktivitas dengan relasi presedensi. Lag positif menyatakan jeda waktu sebelum aktivitas berikutnya dapat dimulai/diselesaikan, sedangkan lag negatif memperbolehkan tumpang tindih dengan aktivitas pendahulu.
***Latest Start* (LS) / *Latest Finish* (LF)**	Waktu paling lambat suatu aktivitas dapat dimulai (LS) atau diselesaikan (LF) tanpa memperpanjang durasi proyek yang merupakan hasil dari *Backward Pass*.
***Linear Programming* (LP)**	Metode pemrograman matematis untuk mengoptimalkan fungsi objektif linear terhadap sekumpulan kendala linear dengan seluruh variabel keputusan bersifat kontinu.

OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lintasan kritis	Rangkaian aktivitas dengan total durasi terpanjang dalam jaringan proyek yang menentukan durasi minimum proyek dan tidak memiliki kelonggaran waktu (*float* bernilai nol).
Lower Bound	Nilai batas bawah fungsi objektif teoritis dari suatu persoalan minimisasi, biasanya diperoleh dari hasil penyelesaian *LP relaxation*.
LP Relaxation	Model matematis sementara dalam pohon pencarian di mana batasan bilangan bulat (diskret) dilepas, sehingga dapat diselesaikan dengan algoritma *Simplex* atau *Barrier*
Node	Pada konteks pohon pencarian algoritma *branch-and-bound node* merupakan titik keputusan dalam yang merepresentasikan sub-masalah (*LP relaxation*). Sub-masalah ini diturunkan dari model awal melalui penambahan batasan (*branching*) pada variabel diskret.
Metaheuristik	Pendekatan penyelesaian berbasis algoritma pencarian yang terinspirasi dari fenomena alam atau perilaku sistem, seperti Algoritma Genetika (GA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Ant Colony Optimization* (ACO). Mampu menangani masalah berskala besar namun tidak menjamin diperolehnya solusi optimum global.
***Mixed-Integer Linear Programming* (MILP)**	Pemrograman matematis dengan fungsi objektif dan kendala linear, di mana sebagian variabel keputusan dibatasi bernilai bilangan bulat (*integer*) dan sebagian lainnya bersifat kontinu. Solusi yang dihasilkan dijamin optimum global apabila solver menyelesaikan model hingga konvergen.
Mode kerja	Konfigurasi durasi-biaya alternatif untuk pelaksanaan satu aktivitas. Pada penelitian ini terdiri atas mode Normal (8 jam/hari), OT1 (lembur 1 jam), OT2 (lembur 2 jam), dan OT3 (lembur 3 jam), sesuai batas regulasi PP No. 35 Tahun 2021.
Mode lembur tunggal	Strategi pembanding yang membatasi pilihan mode pada satu jenis mode lembur yang sama untuk seluruh aktivitas yang dipercepat, mewakili praktik percepatan yang umum dijumpai di literatur nasional.
Multi-mode	Strategi pembanding yang mensyaratkan setiap aktivitas dikerjakan menggunakan satu mode dari sekumpulan mode alternatif (gaya MRCPSP). Strategi ini berbeda dari pendekatan kombinasi mode pada penelitian ini yang memperbolehkan pencampuran mode dalam satu aktivitas.
Network planning	Pendekatan penjadwalan proyek yang merepresentasikan rangkaian aktivitas dan relasi antaraktivitas dalam bentuk jaringan kerja sehingga lintasan kritis dan kelonggaran waktu dapat dianalisis secara sistematis.

OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Objective function	Fungsi tujuan dalam model optimasi yang nilainya akan diminimalkan atau dimaksimalkan oleh solver. Pada penelitian ini, fungsi objektif memuat total biaya proyek yang terdiri atas biaya langsung dan biaya tidak langsung.
***Optimality gap* (MIPGap)**	Selisih relatif antara solusi feasible terbaik (*upper bound*) dan batas terbaik secara teori (*lower bound*) pada algoritma branch-and-bound. Nilai gap 0% mengindikasikan solusi yang ditemukan telah terbukti optimum global. Pada penelitian ini MIPGap ditetapkan sebesar 0.
Overhead	Komponen biaya tidak langsung yang umumnya dinyatakan sebagai persentase terhadap nilai proyek, mencakup biaya operasional kantor proyek dan kantor pusat selama masa pelaksanaan.
Paralelisme	Kemampuan *solver* untuk membagi beban kerja komputasi dan mengeksekusinya secara bersamaan dengan memanfaatkan arsitektur prosesor jamak (*multi-core* atau *multi-processor*). Pada algoritma *branch-and-bound*, paralelisme memungkinkan *solver* menjelajahi dan mengevaluasi beberapa simpul (*node*) secara serentak, sehingga secara signifikan mempercepat waktu penyelesaian model optimasi.
Pareto front	Kumpulan solusi non-dominasi pada permasalahan optimasi multi-objektif, di mana tidak ada solusi lain yang lebih baik pada seluruh fungsi objektif sekaligus.
***Precedence diagram method* (PDM)**	Metode penyusunan jaringan kerja yang merepresentasikan aktivitas sebagai node dan relasi antaraktivitas (FS, SS, FF, SF) sebagai panah yang mendukung penggunaan lag untuk merepresentasikan jeda waktu antaraktivitas.
Predecessor	Aktivitas pendahulu yang harus diselesaikan (sesuai tipe relasi) sebelum aktivitas berikutnya dapat dilanjutkan.
Presolve	Tahap prapemrosesan model oleh *solver* untuk melakukan reduksi variabel dan kendala redundan sebelum proses pencarian solusi utama dimulai.
Produktivitas harian	Volume pekerjaan yang dapat diselesaikan per hari kerja, dihitung sebagai rasio volume terhadap durasi normal aktivitas. Pada mode lembur, produktivitas meningkat secara tidak proporsional terhadap penambahan jam kerja akibat penurunan efisiensi tenaga kerja.
Solver	Perangkat lunak yang menyelesaikan model pemrograman matematis dengan menerapkan algoritma optimasi seperti *Simplex* untuk LP dan *Branch-and-Bound* untuk MILP.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
OPTIMASI TIME-COST TRADE-OFF PADA PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG MENGGUNAKAN MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN KOMBINASI MODE KERJA LEMBUR
Felix Kho, Dr. Ir. Angga Trisna Yudhistira, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Struktur atas	Bagian bangunan di atas permukaan tanah yang mencakup elemen struktural seperti kolom, balok, pelat lantai, dan dinding geser. Pada penelitian ini, lingkup pekerjaan struktur atas terbatas pada pekerjaan beton bertulang gedung tujuh lantai studi kasus.
***Time-Cost Trade-Off Problem* (TCTP)**	Persoalan optimasi yang mencari kombinasi percepatan aktivitas untuk meminimalkan total biaya proyek pada durasi tertentu, atau memetakan hubungan durasi-biaya pada seluruh rentang durasi feasible. *Trade-off* muncul karena percepatan menambah biaya langsung namun mengurangi biaya tidak langsung.
Upper bound	Batas atas nilai fungsi objektif pada algoritma *branch-and-bound,* pada minimisasi merupakan nilai dari solusi *feasible* terbaik yang ditemukan sejauh ini dan menjadi acuan pemangkasan cabang.
***Work Breakdown Structure* (WBS)**	Penguraian hierarkis lingkup pekerjaan proyek menjadi paket-paket kerja yang lebih kecil dan terukur sehingga setiap aktivitas dapat dijadwalkan dan dianggarkan secara terpisah.