UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengembangan Model Penjadwalan Barge-to-Crane Bi-Objektif untuk Minimasi Makespan dan Emisi Karbon
pada Proses Transshipment Batubara: Studi Kasus Perusahaan Tambang**
Riezky Anindhita Putri, Prof. Ir. Nur Aini Masruroh, ST., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA ..... **i**
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS ..... **ii**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ..... **iii**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI ..... **iv**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... **v**
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR ..... **vi**
KATA PENGANTAR ..... **vii**
UCAPAN TERIMA KASIH ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR GAMBAR ..... **xii**
DAFTAR TABEL ..... **xiii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN ..... **xv**
INTISARI ..... **xvii**
ABSTRACT ..... **xviii**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Asumsi dan Batasan Masalah 4
1.3.1 Asumsi Penelitian 4
1.3.2 Batasan Masalah 5
1.4 Tujuan Penelitian 6
1.5 Manfaat Penelitian 6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 *Unrelated Parallel Machine Scheduling* 7
2.2 Penjadwalan dan Operasi Pelabuhan Berbasis Emisi Karbon 8
2.3 Estimasi Emisi *Auxiliary Engine* (*Bottom-Up*) 9
2.4 Pendekatan *Multi-Objective* dan Dukungan Keputusan 10
2.5 Posisi Penelitian 11

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengembangan Model Penjadwalan Barge-to-Crane Bi-Objektif untuk Minimasi Makespan dan Emisi Karbon
pada Proses Transshipment Batubara: Studi Kasus Perusahaan Tambang**
Riezky Anindhita Putri, Prof. Ir. Nur Aini Masruroh, ST., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB 3 LANDASAN TEORI 14
3.1 Penjadwalan Mesin Paralel 14
3.1.1 Klasifikasi Mesin Paralel 14
3.1.2 *Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem* 15
3.2 *Mixed Integer Linear Programming* 16
3.3 *Multi-Objective Mathematical Programming* 17
3.3.1 Klasifikasi Metode Penyelesaian *Multi-Objective* 17
3.3.2 *Weighted Sum* 18
3.3.3 *Epsilon-Constraint* 19
3.4 Emisi Karbon pada Aktivitas Maritim 22
3.4.1 Estimasi Emisi Berbasis Aktivitas (*Bottom-Up*) 22
3.4.2 *Carbon Intensity Indicator* 23
3.5 *Natural Breaks* (*Jenks*) 24
BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN 25
4.1 Objek Penelitian 25
4.2 Alat Penelitian 25
4.3 Tahapan Penelitian 26
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN 30
5.1 Karakteristik Sistem Operasi *Transshipment* (*Model Characterization*) 30
5.2 Klasifikasi *Barge* dan Estimasi Laju Emisi 31
5.2.1 Justifikasi Penggunaan *Tonnage* sebagai *Proxy* 32
5.2.2 Metode Klasifikasi Natural Breaks (Jenks) *Optimal Partitioning* 33
5.2.3 Estimasi Kebutuhan Daya *Tugboat* dan Laju Emisi *Auxiliary Engine* 34
5.3 Pengembangan Model Matematis 38
5.3.1 Notasi Model 38
5.3.2 Fungsi Objektif Model 40
5.3.3 Batasan Model 41
5.4 Verifikasi Model 43
5.4.1 Data dan Skenario yang Diverifikasi 43
5.4.2 Pemeriksaan Jadwal dan Urutan Pemrosesan 44
5.4.3 Verifikasi Pemenuhan Batasan Model 46
5.5 Eksperimen Numerik 47

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengembangan Model Penjadwalan Barge-to-Crane Bi-Objektif untuk Minimasi Makespan dan Emisi Karbon
pada Proses Transshipment Batubara: Studi Kasus Perusahaan Tambang**
Riezky Anindhita Putri, Prof. Ir. Nur Aini Masruroh, ST., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.5.1 Desain Eksperimen dan Kinerja Komputasi 48
5.5.2 Hasil *Epsilon Sweep* dan *Dominance Checking* 50
5.5.3 Kurva Pareto dan Kuantifikasi *Trade-off* 51
5.5.4 Mekanisme Penjadwalan pada Solusi *Non-Dominated* 54
5.6 Analisis Sensitivitas terhadap Penskalaan Seragam Laju Emisi 58
5.6.1 Hasil *Epsilon Sweep* 59
5.6.2 Konsistensi Besaran $Z2$ terhadap Faktor Skala 62
5.6.3 Konsistensi Interpretasi *Trade-off* 62
5.6.4 Ruang Lingkup Analisis 63
5.7 Perbandingan Kinerja dan Signifikansi Keputusan 64
5.7.1 Perbandingan dengan Kebijakan FIFO Aktual 64
5.7.2 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya dan Reproduksi Model 66
5.8 Managerial Insight 67
BAB 6 PENUTUP 69
6.1 Kesimpulan 69
6.2 Saran 70
DAFTAR PUSTAKA 72
LAMPIRAN 77