

SKRIPSI

**OPTIMASI *URBAN RAIL TRANSPORTATION* DENGAN
MENGUNAKAN METODE MANAMOHAN MAHARANA
(MM) DAN METODE MODIFIED MODI (MMODI) PADA
NEGARA BERKEMBANG**



FADIA SYA'BI IRSYADA

21106010056

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2025

**OPTIMASI *URBAN RAIL TRANSPORTATION* DENGAN
MENGUNAKAN METODE MANAMOHAN MAHARANA
(MM) DAN MODIFIED MODI (MMODI) PADA NEGARA
BERKEMBANG**

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan

mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Matematika



diajukan oleh

FADIA SYA'BI IRSYADA

21106010056

Kepada

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2025



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Fadia Sya'bi Irsyada
NIM : 21106010056
Judul Skripsi : Optimasi Urban Rail Transportation dengan Menggunakan Metode Manamohan Maharana (MM) dan Metode Modified MODI (MMODI) pada Negara Berkembang

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Matematika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 28 Februari 2025

Pembimbing

Noor Saif Muhammad Mussafi, S.Si.,
M.Sc., Ph.D

NIP. 19820617 200912 1 005



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-452/Un.02/DST/PP.00.9/03/2025

Tugas Akhir dengan judul : Optimasi Urban Rail Transportation dengan menggunakan Metode Manamohan Maharana (MM) dan Modified MODI (MMODI) pada Negara Berkembang

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : FADIA SYA'BI IRSYADA
Nomor Induk Mahasiswa : 21106010056
Telah diujikan pada : Jumat, 07 Maret 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Noor Saif Muhammad Mussafi, S.Si., M.Sc., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 67d123540ce6a



Penguji I

Muchammad Abrori, S.Si., M.Kom
SIGNED

Valid ID: 67d13c1s4ca6l



Penguji II

Arif Munandar, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 67d126979d47c



Yogyakarta, 07 Maret 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 67d25e025386f

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fadia Sya'bi Irsyada
NIM : 21106010056
Program Studi : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Dengan ini menyatakan bahwa isi skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi dan sesungguhnya skripsi ini merupakan hasil pekerjaan penulis sendiri sepanjang pengetahuan penulis, bukan duplikasi atau saduran dari karya orang lain kecuali bagian tertentu yang penulis ambil sebagai bahan acuan. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Yogyakarta, 3 Maret 2025



Fadia Sya'bi Irsyada

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN



Karya sederhana ini dipersembahkan untuk Bapak, Ibu, dan Kakak
tersayang

HALAMAN MOTTO



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

“Allah tidak mengatakan hidup ini mudah. Tetapi, Allah berjanji, bahwa sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan” -QS. Al-Insyirah: 5-6

“Life can be heavy, especially if you try to carry it all at once. Part of growing up and moving into new chapters of your life is about catch and release. What i mean by that is, knowing what things to keep and what things to release. Decide what is yours to hold and let the rest go” -Taylor Swift

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat, serta hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “Optimasi *Urban Rail Transportation* dengan Menggunakan Metode Manamohan Maharana (MM) dan Metode Modified MODI (MMODI) pada Negara Berkembang”. Penulisan skripsi ini diselesaikan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Matematika di Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Semoga kita semua mendapatkan syafaatnya dan mendapat petunjuk hingga hari kiamat nanti.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini terdapat banyak hambatan dan kekurangan. Namun berkat adanya motivasi, bantuan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak. *Alhamdulillah* skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Noorhaidi, M.A., M.Phil., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Dr. Epha Diana Supandi, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Muhammad Zaki Riyanto, S.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing, memberikan dukungan serta saran kepada penulis selama menjalani studi.
5. Noor Saif Muhammad Mussafi, S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing

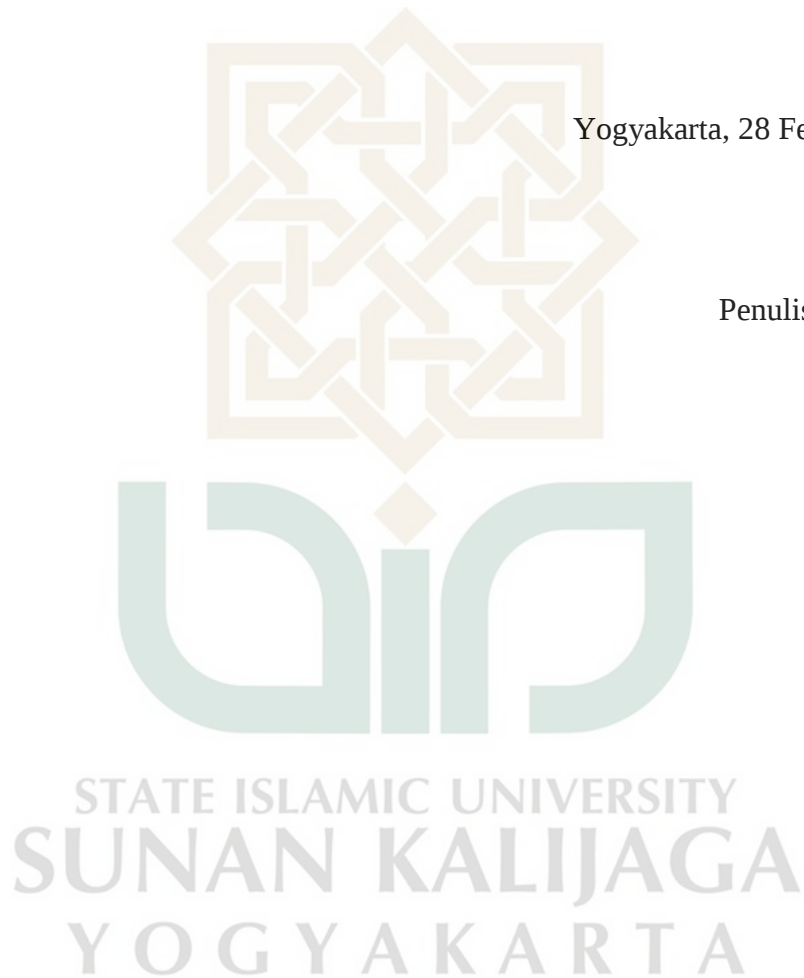
dan mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.

6. Seluruh Bapak/Ibu dosen dan staf Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan ilmu bermanfaat dan memberikan pelayanan administrasi akademik.
7. Bapak Adi Sutrisna dan Ibu Poncorini yang telah memberikan segala dukungan, semangat, perhatian, doa serta telah mendidik dan membesarkan Penulis dalam limpahan kasih sayang. Terima kasih atas apa yang telah diberikan kepada Penulis yang tidak bisa dibandingkan dan digantikan dengan apapun, tak lupa untuk selalu mengingatkan Penulis untuk bangun di sepertiga malam.
8. Kakakku tersayang Hafiish Umar Fathoni dan Titi Israwati yang selalu menghibur penulis ketika pulang ke rumah dan memberikan masukan serta motivasi untuk keberhasilan penulis.
9. Fiqi Amirul Affan yang selalu memberikan dukungan penuh untuk tidak menyerah, mendengarkan segala keluh kesah penulis, serta meluangkan waktu untuk menemani penulis dalam menyelesaikan skripsi.
10. Sahabat-sahabatku Laili, Fina, Izah, Afifah, Nikmah, Reni, Citra, Nur, Azziyah, Ratna, Awliya, Karin yang kebersamaan penulis selama duduk di bangku perkuliahan, menghadapi jatuh bangun bersama, dukungan semangat, dan bantuan untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
11. Sahabat Boarding-ku Leili, Dwi, Sani, Azizah yang selalu menerima ajakan main penulis, meluangkan waktu untuk bertemu walaupun jarak memisahkan.
12. Teman-teman konsentrasi Matematika Terapan dan Matematika Angkatan 2021.
13. Teman-teman KKN kelompok 140 Desa Jetis, Gunung Kidul yang telah memberikan pengalaman berharga, serta dukungan untuk segera menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap segala kritik dan saran yang bersifat membangun dalam pengembangan penelitian ini. Namun, penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan bagi penulis maupun semua pihak.

Yogyakarta, 28 Februari 2025

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR LAMBANG	xvii
INTISARI	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Tinjauan Pustaka	6
1.7 Metode Penelitian	10
1.8 Sistematika Penulisan	12
BAB II DASAR TEORI	13
2.1 Riset Operasi	13
2.2 Program Linier	16
2.3 Masalah Transportasi	18

2.4	Urban Rail Transportation	23
2.5	Algoritma Solusi Layak Awal	31
2.5.1	Metode Vogel's Approximation Method (VAM)	32
2.5.2	Metode Modified Vogel's Approximation Method (MVAM)	39
2.6	Algoritma Solusi Optimal	48
2.6.1	Metode <i>Modified Distribution</i> (MODI)	48
2.6.2	Metode Manamohan Maharana (MM)	50
2.6.3	Metode Modified MODI (MMODI)	58
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN		64
3.1	Konsep Awal Penyelesaian Masalah Transportasi Minimisasi Biaya	64
3.1.1	Variabel keputusan	64
3.1.2	Kontribusi dan biaya tiap unit	65
3.1.3	Model Matematika <i>Urban Rail Transportation</i>	68
3.2	Penyelesaian Urban Rail Transportation Metode Modified Vogel's Approximation Method (MVAM) pada Solusi Layak Awal	71
3.3	Penyelesaian Urban Rail Transportation Metode Manamohan Maharana (MM)	81
3.4	Penyelesaian <i>Urban Rail Transportation</i> Metode <i>Modified MODI</i> (MMODI) pada Solusi Optimal	90
3.5	Perbandingan Hasil Uji Optimal Metode MM dan Metode MMODI	93
BAB IV PENUTUP		97
4.1	Kesimpulan	97
4.2	Saran	99
DAFTAR PUSTAKA		100
LAMPIRAN		104
Curriculum Vitae		109

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Tinjauan Pustaka	7
Tabel 2.1 Bentuk umum tabel model pemrograman linear	18
Tabel 2.2 Tabel Masalah Transportasi	20
Tabel 2.3 Biaya transportasi pengiriman pupuk (ribuan).....	33
Tabel 2.4 Tabel awal masalah transportasi metode VAM	33
Tabel 2.5 Iterasi 1 metode VAM	34
Tabel 2.6 Iterasi 2 metode VAM	35
Tabel 2.7 Iterasi 3 metode VAM	36
Tabel 2.8 Iterasi 4 metode VAM	36
Tabel 2.9 Iterasi 5 metode VAM	37
Tabel 2.10 Hasil akhir metode VAM	38
Tabel 2.11 Tabel simulasi metode MVAM.....	42
Tabel 2.12 Tabel simulasi metode MVAM baru	42
Tabel 2.13 Tabel simulasi metode MVAM tereduksi.....	43
Tabel 2. 14 Iterasi 1 Simulasi metode MVAM	43
Tabel 2.15 Iterasi 2 Simulasi metode MVAM	44
Tabel 2.16 Iterasi 3 Simulasi metode MVAM	44
Tabel 2.17 Iterasi 4 Simulasi metode MVAM	45
Tabel 2.18 Iterasi 5 Simulasi metode MVAM	46
Tabel 2.19 Iterasi 6 Simulasi metode MVAM	46
Tabel 2.20 Hasil akhir simulasi metode MVAM	47
Tabel 2.21 Hasil akhir solusi awal metode VAM	49
Tabel 2.22 Contoh simulasi metode MM.....	53
Tabel 2.23 Iterasi 1 reduksi baris dan kolom simulasi metode MM.....	53
Tabel 2.24 Iterasi 2 reduksi baris dan kolom simulasi metode MM.....	55
Tabel 2.25 Iterasi 3 reduksi baris dan kolom simulasi metode MM.....	56

Tabel 2.26 Iterasi 4 reduksi baris dan kolom simulasi metode MM.....	56
Tabel 2.27 Iterasi 5 reduksi baris dan kolom simulasi metode MM.....	57
Tabel 2.28 Iterasi 6 reduksi baris dan kolom simulasi metode MM.....	57
Tabel 2.29 Hasil akhir simulasi metode MM.....	58
Tabel 2.30 Hasil akhir simulasi metode MVAM.....	62
Tabel 2.31 Hasil akhir simulasi metode MMODI.....	63
Contoh 2.5.1 Simulasi masalah transportasi biaya metode VAM	32
Contoh 2.5.2 Simulasi masalah transportasi metode MVAM.....	42
Tabel 3.1 Nilai Sumber Daya.....	66
Tabel 3.2 Masalah urban rail transportation tidak seimbang (dalam ribuan)	70
Tabel 3.3 Masalah urban rail transportation seimbang (dalam ribuan)	70
Tabel 3.4 Masalah urban rail transportation baru	73
Tabel 3.5 Masalah urban rail transportation tereduksi.....	74
Tabel 3.6 Iterasi 1 Metode MVAM	74
Tabel 3.7 Iterasi 2 Metode MVAM	75
Tabel 3.8 Iterasi 3 Metode MVAM	76
Tabel 3.9 Iterasi 4 Metode MVAM	77
Tabel 3.10 Iterasi 5 Metode MVAM	78
Tabel 3.11 Iterasi 6 Metode MVAM	79
Tabel 3.12 Hasil akhir Metode MVAM.....	80
Tabel 3.13 Solusi awal Metode MVAM.....	80
Tabel 3.14 Masalah urban rail transportation seimbang (ribuan)	82
Tabel 3. 15 Iterasi 1: Reduksi kolom metode MM	82
Tabel 3.16 Iterasi 2: Reduksi baris dan kolom metode MM.....	83
Tabel 3.17 Iterasi 3: Reduksi baris dan kolom metode MM.....	84
Tabel 3.18 Iterasi 4: Reduksi baris dan kolom metode MM.....	86
Tabel 3.19 Iterasi 5: Reduksi baris dan kolom metode MM.....	87
Tabel 3.20 Iterasi 6 : Reduksi baris dan kolom metode MM.....	88

Tabel 3.21 Hasil Metode MM (ribuan)	89
Tabel 3.22 Solusi awal metode MVAM (ribuan).....	90
Tabel 3.23 Solusi optimal metode MMODI	92
Tabel 3.24 Perbandingan Hasil Uji Optimal Masalah Urban Rail Transportation (1).....	95
Tabel 3.25 Perbandingan Hasil Uji Optimal Masalah Urban Rail Transportation (2).....	95



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Flowchart Metode Penelitian	11
Gambar 2.1 Skema Masalah transportasi.....	19
Gambar 2.2 Flowchart Metode MVAM	41
Gambar 2.3 Flowchart Metode MM	52
Gambar 2.4 Flowchart Metode MMODI	61
Gambar 3.1 Hasil Solusi Awal Metode NWC (Software POM-QM).....	94
Gambar 3.2 Hasil Solusi Optimal Metode MODI (Software POM-QM).....	94



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Geografi Nigeria (Sumber: Geography, 2024)	104
Lampiran 2. Blue Line (Sumber: Wira, 2023)	104
Lampiran 3. Flowchart keseluruhan metode	105
Lampiran 4. Hasil Solusi Awal Metode NWC (Software POM-QM)	106
Lampiran 5. Daftar biaya pengalokasian Metode NWC (Software POM-QM) .	106
Lampiran 6. Hasil Uji Optimal Metode MODI (Software POM-QM)	106
Lampiran 7. Daftar biaya pengalokasian Metode MODI (Software POM-QM)	107
Lampiran 8. Persentase keberhasilan setiap komponen dari 3 sistem	107



DAFTAR LAMBANG

s_n	: variabel slack
t_n	: variabel surplus
c_{ij}	: jumlah biaya transportasi dari titik i (persediaan) ke titik j (permintaan)
x_{ij}	: jumlah barang yang dikirim dari titik i (persediaan) ke titik j (permintaan)
$\bar{W}$	: fungsi tujuan memaksimumkan
$\bar{Z}$	: fungsi tujuan meminimumkan
a_i	: barang yang tersedia di titik i persediaan
b_j	: barang yang tersedia di titik j permintaan
m	: daerah sumber
n	: daerah tujuan
S_i	: sumber barang ke- m
D_j	: tujuan barang ke- n
u_i	: penalti pada baris ke- i
v_j	: penalti pada kolom ke- j
t_i	: sistem pembangunan kereta api ke- i
$\sum_{i=1}^m a_i$	: jumlah barang yang tersedia di titik i persediaan
$\sum_{j=1}^n b_j$	: jumlah barang yang tersedia di titik j permintaan
$\sum_{j=1}^n x_{ij}$	: penjumlahan $x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in}$
$\sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij}$	: penjumlahan dari perkalian $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j$

INTISARI

Optimasi *Urban Rail Transportation* dengan Menggunakan Metode Manamohan Maharana (MM) dan Metode Modified MODI (MMODI) pada Negara Berkembang

Oleh

Fadia Sya'bi Irsyada

NIM. 21106010056

Urban Rail Transportation memiliki peran penting dalam mendukung pembangunan ekonomi di negara berkembang, terutama dalam mengatasi kemacetan yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk yang pesat. Semakin banyaknya penduduk, kebutuhan akan sistem transportasi umum yang efisien menjadi sangat mendesak. Oleh karena itu, pemerintah di berbagai negara berkembang giat melakukan pembangunan infrastruktur transportasi untuk mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi di jalanan kota. Di antara negara-negara tersebut, Nigeria telah merencanakan pembangunan sistem kereta api di Okokomaiko, yang akan menghubungkan kawasan padat penduduk dengan pusat bisnis di Marina. Proyek ini mencerminkan upaya untuk menghadapi permasalahan mobilitas dan kemacetan di kawasan urban. Dalam pembangunan sistem kereta api tentunya membutuhkan biaya yang relatif besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi biaya untuk mengoptimalkan sistem pembangunan proyek kereta api tersebut. Pada penelitian ini dilakukan uji optimalitas menggunakan Metode MMODI dan Metode MM. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa kedua metode tersebut memberikan hasil optimalitas yang sama, yaitu sebesar 10.450.000 USD atau terjadi penghematan 47,75% dari alokasi anggaran yang disediakan.

Kata kunci: *Urban Rail Transportation*, Metode MVAM, Metode MM, Metode MMODI, Negara berkembang

ABSTRACT

Urban Rail Transportation Optimization Using Manamohan Maharana Method (MM) and Modified MODI Method (MMODI) in Developing Countries

By

Fadia Sya'bi Irsyada

NIM. 21106010056

Urban rail transportation plays an important role in supporting economic development in developing countries, especially in addressing congestion caused by rapid population growth. As the population grows, the need for an efficient public transportation system becomes more urgent. Therefore, governments in various developing countries are actively developing transportation infrastructure to reduce dependence on private vehicles on city streets. Among these countries, Nigeria has planned the construction of a railway system in Okokomaiko, which will connect the densely populated area with the business center in Marina. The project reflects an effort to address mobility and congestion issues in urban areas. The construction of a railway system requires a relatively large amount of money. Therefore, it is necessary to carry out cost optimization to optimize the construction system of the railway project. In this study, optimality tests were carried out using the MM Method and the MMODI Method. The results of the test show that both methods provide the same optimality results, which amount to 10,450,000 USD or a savings of 47.75% of the budget allocation provided.

Keyword: Urban Rail Transportation, MVAM Method, MM Method, MMODI Method, Developing countries.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Negara merupakan suatu organisasi kekuasaan di antara sekelompok atau beberapa kelompok manusia yang mendiami suatu wilayah (teritorial) tertentu (Raihan, 2021). Setiap negara memiliki kondisi sosial dan ekonomi yang berbeda sehingga menyebabkan terjadinya pengelompokan antara negara maju dan negara berkembang. Perbedaan karakter dan tantangan yang dihadapi menjadikan negara berkembang sering menjadi objek penelitian. Negara berkembang menghadapi isu krusial dalam pembangunan ekonomi dengan tujuan untuk meningkatkan pendapatan per kapita dan mengurangi tingkat kemiskinan. Selain itu, kebutuhan akan anggaran yang signifikan serta kematangan rencana menjadi alasan utama mengapa negara berkembang sering dipilih dalam suatu penelitian.

Negara berkembang didefinisikan sebagai negara yang memiliki karakteristik seperti ketergantungan pada negara maju, tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi, tingkat pengangguran yang tinggi dan masih mengandalkan sektor pertanian (Todaro, Michael P and Smith, 2020). Di samping itu, Agarana memaknai negara berkembang sebagai negara yang belum mencapai target pembangunannya (Agarana et al., 2016). Pembangunan yang dimaksud seperti kualitas pendidikan, sumber daya manusia, kekuatan ekonomi dan infrastruktur yang berkaitan dengan kualitas hidup masyarakat di negara tersebut.

American Public Works Association (APWA) mengatakan bahwa infrastruktur adalah fasilitas fisik yang dikembangkan atau dibutuhkan oleh publik untuk fungsi-fungsi pemerintahan dalam penyediaan air, tenaga listrik, pembuangan limbah, transportasi dan pelayanan sejenis untuk memfasilitasi tujuan

pembangunan ekonomi. Proyek pembangunan transportasi kereta api banyak dilakukan oleh negara-negara berkembang dalam rangka mengakselerasi pertumbuhan ekonomi. Bagi negara berkembang, penghematan anggaran menjadi isu sentral dalam setiap pembangunan infrastruktur. Perkembangan teknologi kereta api telah mengalami kemajuan yang pesat. Hal ini ditandai dengan konversi sumber energi penggunaan bahan bakar dari kayu ke listrik. Transportasi kereta api menjadi pilihan yang cukup efektif untuk mengantarkan manusia dan barang ke tempat yang berbeda secara massal. Fasilitas transportasi kereta api yang memadai dapat menjadi sarana transportasi publik yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan kendaraan pribadi seperti mobil dan motor. Selain itu, transportasi tersebut cepat, aman dan nyaman untuk berpindah dari pinggiran kota ke pusat kota atau bahkan ke pusat kota lain (Agarana et al., 2016).

Kota terbesar di Nigeria, Lagos, misalnya telah membangun sistem kereta api ringan di bawah kemitraan pemerintah dan swasta. Nigeria merupakan negara bagian dari Afrika Barat yang membentang seluas 923.768 km^2 dengan kota Lagos termasuk salah satu kawasan terpadat di negara tersebut (Lampiran 1). Kawasan ini direncanakan akan dibangun sistem kereta api yang menghubungkan Okokomaiko (kawasan padat penduduk di bagian barat Lagos) dengan Marina (kawasan bisnis di Lagos) untuk mengurangi kemacetan lalu lintas pada kota tersebut. Disamping itu, Lagos merupakan pusat ekonomi yang menyumbang 26,7% dari total PDB (Produk Domestik Bruto) Nigeria dan lebih dari 50% kapasitas industri non-minyak (Haq, 2024).

Nigeria menjadi salah satu negara yang merencanakan pembangunan kereta api bekerjasama dengan China untuk mempererat hubungan diplomatik antar negara tersebut. Dibangun oleh *China Civil Engineering Construction Corporation* (CCECC) sejak 2010 yang bertujuan untuk mengembangkan sistem perkeretaapian negara tersebut dengan standar internasional. Pembangunan proyek kereta api dikenal dengan istilah *Urban Rail Transportation*, yang merupakan kombinasi dari

kata ‘*urban*’ dan ‘*rail transportation*’. Istilah ini merujuk pada sistem transportasi rel yang beroperasi di daerah perkotaan. Salah satu contoh sistem *urban rail* yaitu Jalur Biru *Lagos Rail Mass Transit* (LRMT) yang memiliki panjang sekitar 27 km dan terdiri dari 13 stasiun pemberhentian (UITP, 2022). Pada proyek tahap pertama, Jalur Biru diresmikan sepanjang 13 km dengan 5 stasiun pemberhentian (Lampiran 2). Sebelumnya, pembangunan kereta api di Nigeria telah dilakukan dengan didanai oleh pemerintah namun selama pengoperasian kereta api tersebut terkendala kebijakan dan administrasi yang tidak ditanggung pemerintah kembali, sehingga transportasi kereta api menjadi terbengkalai (Odeleye, 2000).

Transportasi memiliki peranan penting dalam segala hal, terutama pada pengiriman barang. Barang-barang perlu didistribusikan dari sumber (*supply*) seperti pabrik ke beberapa tujuan (*demand*). Pengiriman barang tentunya memerlukan suatu biaya untuk mencukupi permintaan *customer* agar sampai tepat waktu. Semakin jauh jarak yang ditempuh serta waktu yang lama akan meningkatkan biaya transportasi. Oleh karena itu, masalah transportasi membutuhkan manajemen terkait pasokan dan solusi yang efisien dalam pengangkutan barang dari sumber ke berbagai tujuan untuk meminimum biaya pengiriman.

Konsep minimisasi biaya pengiriman barang ini akan diterapkan pada minimisasi biaya pembangunan proyek transportasi kereta api. Biaya proyek kereta api, baik pembukaan lahan dan konstruksi, serta operasional dan pemeliharaan yang berkelanjutan relatif besar. Pembangunan dua jalur awal pada proyek kereta api perkotaan diperkirakan menelan biaya hingga \$1,4 miliar. Pembangunan kereta api di Tanzania pada jalur Dar es Salam-Isaka yang dibiayai oleh World bank dan Non-Bank mencapai jutaan dolar AS (World Bank, 2014). Oleh karena itu, pemerintah Nigeria harus merencanakan, menyusun, dan melaksanakan proyek kereta api selanjutnya dengan lebih matang demi memberikan manfaat yang sepadan dengan jumlah biaya yang dikeluarkan.

Penyelesaian masalah transportasi dapat dilakukan dengan meminimumkan atau memaksimumkan tujuan dengan mengidentifikasi beberapa kendala yang terjadi. Masalah transportasi memaksimumkan komponen pembangunan proyek kereta api telah digunakan oleh (Agarana et al., 2016) untuk mengoptimalkan sistem pembangunan proyek kereta api di Nigeria. Metode yang digunakan adalah metode simplek untuk menentukan solusi awal dan solusi optimal menggunakan metode *Modified Distribution* (MODI). Metode Simplek cenderung membutuhkan banyak iterasi untuk mendapat solusi optimal, sehingga pada penelitian ini akan digunakan metode lain.

Pada penelitian ini, metode *Manamohan Maharana* (MM) dan metode *Modified MODI* (MMODI) akan diterapkan sebagai solusi optimal karena kedua metode tersebut lebih efisien dan mutakhir dibandingkan dengan metode yang digunakan pada jurnal utama. Kemudian hasil akhirnya akan dibandingkan metode mana yang lebih optimal digunakan untuk meminimumkan biaya pembangunan proyek kereta api. Maharana (2017) pertama kali mengenalkan metode MM yang berfokus untuk memperoleh solusi optimal secara langsung, tanpa harus mencari solusi awal. Sedangkan metode MMODI digunakan untuk mencari solusi optimal pada minimisasi biaya. Uji optimal diperlukan untuk menilai apakah solusi yang diperoleh dari suatu masalah transportasi telah mencapai solusi paling efisien atau belum.

Dalam penelitian ini akan diterapkan metode solusi layak awal menggunakan *Modified Vogel's Approximation Method* (MVAM) dan solusi optimal menggunakan metode MM dan MMODI untuk meminimumkan biaya pembangunan proyek kereta api. Metode MVAM dipilih karena pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh M. Wali Ullah, dkk mengenai perbandingan metode solusi layak awal antara *North West Corner Method* (NWCM), *Least Cost Method* (LCM), *Vogel's Approximation Method* (VAM) dan MVAM menghasilkan solusi awal yang lebih optimal adalah metode MVAM (Ullah et al., 2016).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka diperoleh rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana konsep awal dalam menentukan penyelesaian masalah transportasi minimisasi biaya pada Optimasi *Urban Rail Transportation*?
2. Bagaimana menentukan uji optimal pada masalah Optimasi *Urban Rail Transportation* dengan menggunakan metode MM?
3. Bagaimana menentukan uji optimal pada masalah Optimasi *Urban Rail Transportation* menggunakan metode MMODI?
4. Bagaimana perbandingan uji optimal antara metode MM dan metode MMODI dengan hasil yang seminimal mungkin pada masalah Optimasi *Urban Rail Transportation*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penulis dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari konsep awal untuk menentukan penyelesaian masalah dengan minimisasi biaya pada Optimasi *Urban Rail Transportation*.
2. Menerapkan metode MM untuk penyelesaian uji optimal dari masalah Optimasi *Urban Rail Transportation*.
3. Menerapkan metode MMODI untuk menentukan uji optimal pada masalah Optimasi *Urban Rail Transportation*.
4. Mengetahui metode yang lebih efektif digunakan antara metode MM dan metode MMODI dalam menyelesaikan masalah Optimasi *Urban Rail Transportation*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat diambil oleh akademisi untuk digunakan sebagai inspirasi pada pengembangan penelitian dan menambah

wawasan. Selain itu, penelitian minimisasi biaya pembangunan proyek kereta api dapat dipertimbangkan oleh pengambil kebijakan agar lebih baik dalam mengalokasikan sumber daya demi meningkatkan kesejahteraan masyarakat yang akan menggunakan transportasi publik tersebut. Disamping itu, manfaat lain yang akan didapat sebagai berikut:

1. Memberikan manfaat mengenai pemahaman konsep awal terkait biaya-biaya yang dikeluarkan pada pembangunan proyek kereta api.
2. Memberi pemahaman dan wawasan mengenai masalah Optimasi *Urban Rail Transportation* menggunakan metode MM dan metode MMODI.
3. Memberi manfaat untuk dapat dijadikan referensi dan menjadi inspirasi pada peneliti lain agar mengembangkan penelitian tentang proyek pembangunan kereta api menggunakan metode yang lebih efisien dan terbaru sehingga diharapkan mendapat hasil yang lebih minimum.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini, difokuskan pada pencarian solusi layak awal masalah transportasi menggunakan metode MVAM. Penyelesaian masalah transportasi dibatasi dengan menggunakan dua metode uji optimal, yaitu metode MM dan metode MMODI. Data yang digunakan merupakan data pembangunan proyek kereta api di Nigeria yang telah dilakukan penelitian sebelumnya menggunakan metode simplek untuk menentukan solusi awal dan menggunakan metode MODI sebagai uji optimal (Agarana et al., 2016).

1.6 Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka yang digunakan pada penelitian ini berupa pengembangan dari beberapa jurnal sebelumnya sebagai berikut:

1. Karya ilmiah oleh (Agarana et al., 2016) yang berjudul “*Optimization of Urban Rail Transportation in Emerging Countries Using Operational*

Research Techniques”. Jurnal ini membahas tentang memaksimalkan kinerja pembangunan proyek kereta api di Nigeria menggunakan metode solusi awal yaitu metode simplek dan untuk metode optimal menggunakan MODI dengan kendala campuran.

2. Karya ilmiah oleh (Maharana, 2017) yang berjudul “ *a New approach for Solving Transportation Problem*”. Jurnal ini membahas tentang sebuah metode optimal yang tidak memerlukan solusi awal untuk mengurangi banyaknya jumlah iterasi. Kemudian hasil metode MM akan dibandingkan dengan MMODI.
3. Karya ilmiah oleh (Ullah et al., 2016) yang berjudul “ *a Modified Vogel’s Approximation Method for Obtaining a Good Primal Solution of Transportation Problems*”. Jurnal ini membahas penyelesaian masalah transportasi menggunakan metode MVAM, yaitu modifikasi dari metode VAM untuk mendapat solusi yang lebih efisien untuk masalah transportasi berskala besar.
4. Skripsi oleh (Ramadhan, 2024) yang berjudul “Penyelesaian Masalah Transportasi Himpunan Fuzzy Tipe-2 Interval (IT2FS) Menggunakan Metode MVAM dan IVAM serta Uji Optimasi Menggunakan MMODI”. Karya ilmiah tersebut membahas penyelesaian masalah transportasi *fuzzy* tipe-2 menggunakan metode MVAM, IVAM, dan MMODI.

Penjelasan mengenai perbedaan dan persamaan pada penelitian ini dengan penelitian lain akan disajikan pada tabel di bawah:

Tabel 1.1 Tinjauan Pustaka

Nama peneliti	Judul penelitian	Persamaan dan Perbedaan
M.C. Agarana, T.A. Anake, H.I Okagbue (2016)	<i>Optimization of Urban Rail Transportation in</i>	Persamaan terletak pada data yang akan digunakan untuk pembangunan proyek kereta api.

	<i>Emerging countries using operational research techniques</i>	Perbedaannya terletak pada metode yang diterapkan dan tujuan yang ingin dicapai pada jurnal terkait. Tujuan penelitian ini yaitu untuk meminimumkan biaya. Kemudian, akan digunakan metode MVAM sebagai solusi layak awal dan metode MMODI, serta metode MM sebagai solusi optimal.
Manamohan Maharana (2017)	<i>a New Approach for Solving Transportation Problem</i>	Persamaan pada jurnal ini terletak pada skema alur meminimumkan biaya yang digunakan yaitu, metode MM. Perbedaannya terletak pada data yang digunakan, dan perbandingan metode optimal penelitian ini akan dibandingkan dengan metode MMODI.
M.Wali Ullah, M.Alhaz Uddin, Rijwana Kawser (2016)	<i>a modified Vogel's Approximation method for obtaining a good primal solution of transportation problems</i>	Persamaan terletak pada metode yang akan digunakan, yaitu metode MVAM untuk meminimumkan biaya pembangunan proyek kereta api. Perbedaan terletak pada data yang digunakan dan akan dibandingkan dengan metode VAM.
Muhammad Ridho Ramadhan (2024)	<i>Penyelesaian Masalah Transportasi Himpunan Fuzzy Tipe-2 Interval</i>	Persamaannya terletak pada metode penyelesaian masalah transportasi menggunakan Metode MVAM dan Metode MMODI.

	<i>(IT2FS)</i> <i>menggunakan</i> <i>Metode MVAM</i> <i>dan IVAM serta</i> <i>Uji Optimasi</i> <i>menggunakan</i> <i>Metode MMODI</i>	Sedangkan perbedaannya terletak pada metode pembanding yang digunakan. Dalam penelitian ini Metode MMODI akan dibandingkan dengan Metode MM pada pencarian solusi optimal. Perbedaan lainnya terletak pada kasus yang digunakan.
--	---	--

Penelitian ini menggunakan referensi utama dari penelitian yang dilakukan oleh Agarana et al dengan judul “*Optimization of Urban Rail Transportation in Emerging Countries Using Operational Research Techniques*”. Perbedaan antara penelitian ini dengan referensi utama terletak pada metode penyelesaian solusi layak awal dengan menggunakan metode MVAM. Metode MVAM telah diteliti pada jurnal berjudul “*a Modified Vogel’s Approximation Method for Obtaining a Good Primal Solution of Transportation Problems*” dengan data simulasi masalah transportasi seimbang. Selanjutnya, untuk uji optimal dalam penelitian ini menggunakan metode MM yang telah diteliti pada jurnal berjudul “*a New Approach for Solving Transportation Problem*”. Selain metode MM, metode MMODI akan diaplikasikan untuk uji optimal. Kemudian hasil dari kedua metode untuk uji optimal akan dibandingkan.

Algoritma MMODI didapat dari jurnal berjudul “*Modified Vogel’s Approximation Method for Transportation Problem Under Uncertain Environment*” yang membahas mengenai masalah transportasi fuzzy. Kasus yang digunakan pada jurnal-jurnal tersebut berupa simulasi masalah transportasi, sedangkan pada penelitian ini akan menggunakan kasus riil mengenai pembangunan proyek kereta api di Nigeria.

1.7 Metode Penelitian

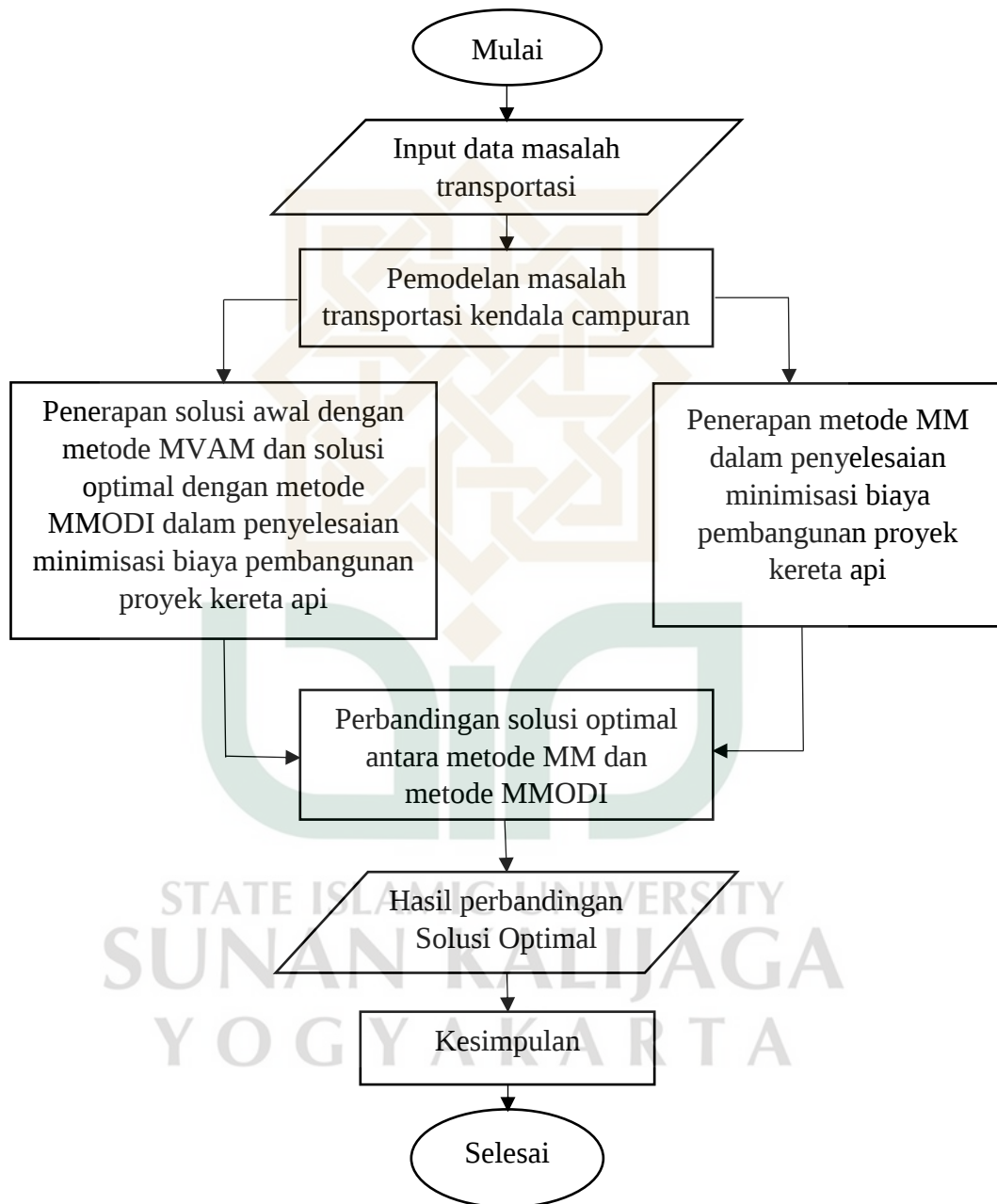
Metode yang diaplikasikan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan penelitian terapan. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari dan memahami jurnal utama beserta jurnal pendukung yang diambil dari buku-buku referensi, karya ilmiah, dan jurnal-jurnal terkait topik penelitian mengenai masalah transportasi. Beberapa kerangka teori yang mendukung penelitian tersebut, yaitu masalah transportasi, pemodelan masalah transportasi, metode penyelesaian masalah transportasi, dan sistem pembangunan proyek kereta api,

Penyelesaian masalah transportasi akan dilakukan dalam dua tahap, yaitu solusi awal dan solusi optimal. Dalam pencarian solusi awal akan digunakan metode MVAM. Adapun dalam pencarian solusi optimal akan digunakan dua metode yaitu, metode MM dan metode MMODI, dimana hasil keduanya akan dibandingkan. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa studi kasus pembangunan proyek kereta api di Nigeria. Selanjutnya, data tersebut akan dianalisis menggunakan metode MM dan metode MMODI, kemudian memahami dan menyelesaikan masalah tersebut.

Untuk lebih lengkapnya, akan disajikan *flowchart* dari metode penelitian yang telah dipaparkan. Secara umum, *flowchart* metode penelitian memuat empat poin. Dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan secara detail pada Lampiran 3 yakni sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah transportasi khususnya pada sistem pembangunan proyek kereta api. Kemudian dilakukan konversi dari masalah riil ke pemodelan matematika untuk masalah transportasi.
2. Penerapan algoritma metode MVAM untuk mencari solusi awal pada penyelesaian minimisasi biaya pembangunan proyek kereta api. Hasil perhitungan akan diaplikasikan untuk mencari solusi optimal menggunakan metode MMODI.
3. Penerapan algoritma metode MM tidak memerlukan solusi awal dan akan berfokus pada perolehan solusi optimal.

4. Analisis perbandingan hasil akhir dari metode MM dan metode MMODI. Kemudian diidentifikasi metode mana yang efektif.



Gambar 1.1 Flowchart Metode Penelitian

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada skripsi ini dibagi menjadi empat bab sebagai berikut:

- BAB 1** : Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, tinjauan pustaka, metode penelitian dan sistematika penulisan.
- BAB 2** : Bab ini membahas mengenai konsep dasar riset operasi, program linear, masalah transportasi, *urban rail transportation*, algoritma solusi layak awal metode VAM dan MVAM, algoritma solusi optimal metode MODI, MM, dan MMODI.
- BAB 3** : Bab ini membahas tentang kendala, variabel keputusan, fungsi tujuan, penyelesaian solusi layak awal metode MVAM, penyelesaian solusi uji optimal metode MM dan metode MMODI, perbandingan hasil uji optimal antara metode MM dan metode MMODI menggunakan data numerik yang telah diambil dari jurnal ilmiah terkait pembangunan proyek kereta api.
- BAB 4** : Bab ini berisi kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV

PENUTUP

Pada bab penutup ini akan berisi kesimpulan serta saran-saran mengenai penelitian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

4.1 Kesimpulan

Masalah transportasi dapat diselesaikan dengan menggunakan berbagai metode penyelesaian. Pada umumnya, penyelesaian masalah transportasi terbagi menjadi dua, yaitu penyelesaian untuk solusi awal dan solusi optimal. Solusi optimal diperlukan untuk memastikan bahwa biaya yang dialokasikan merupakan biaya paling minimal. Pengujian optimal pada masalah *urban rail transportation* telah dilakukan menggunakan dua metode uji optimal. Metode MMODI dan metode MM merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh solusi optimal dari suatu permasalahan transportasi. Metode MMODI termasuk metode yang belum lama ini dikembangkan pada masalah transportasi *fuzzy*. Berbeda dengan metode MMODI, metode MM telah lama dikenalkan sejak tahun 2016. Berangkat dari tujuan penelitian penulis mengenai optimasi masalah *urban rail transportation* dapat disimpulkan:

1. Penentuan konsep awal pada pembangunan sistem kereta api memerlukan ketelitian dalam memahami hubungan antara setiap komponen yang mendukung pembangunan perkeretaapian tersebut. Seluruh komponen diklasifikasikan sesuai karakternya menjadi 3 sistem, yaitu Alat pengangkut (t_{1j}), Infrastruktur (t_{2j}), Manajemen Operasional (t_{3j}). Proses ini melibatkan perhitungan untuk meminimalkan biaya berdasarkan nilai sumber daya yang tersedia, yang akan digunakan sebagai subjek permintaan. Disamping itu, nilai sumber daya juga berkaitan dengan tingkat keberhasilan penggunaan bahan baku selama proses pembangunan. Informasi dari elemen-elemen

pendukung ini kemudian dirangkum ke dalam bentuk model matematika yang digunakan untuk pengujian dari setiap metode. Dari penentuan konsep awal tersebut, dapat disimpulkan bahwa penghematan biaya harus difokuskan pada pengalokasian beberapa komponen yang berkemungkinan membutuhkan alokasi sumber daya yang tidak sedikit.

2. Penerapan uji optimal menggunakan metode MMODI membutuhkan solusi awal menggunakan metode MVAM. Dalam kasus *urban rail transportation* di Nigeria dihasilkan sebanyak 6 iterasi untuk pengujian solusi awal, serta 1 iterasi untuk pengujian optimalitas dengan hasil minimisasi mencapai 10.450.000 USD.
3. Disisi lain, metode MM merupakan metode dengan teknik pendekatan yang mampu menghasilkan solusi awal sekaligus solusi optimal dalam satu proses. Pada kasus *urban rail transportation* di Nigeria pengujian optimalitas menggunakan metode MM memerlukan 6 iterasi untuk mencapai hasil yang optimal tanpa melakukan pengujian pada solusi awal. Metode MM menunjukkan efisiensi dalam pengujian optimalitas, karena hanya membutuhkan 6 iterasi untuk mencapai hasil terbaik dengan hasil minimisasi sebesar 10.450.000 USD.
4. Perbandingan hasil uji optimalitas pada masalah *urban rail transportation* antara metode MMODI dan MM menunjukkan adanya selisih 1 iterasi diantara kedua metode tersebut. Diperoleh bahwa metode MM lebih efektif dibandingkan dengan metode MMODI. Berdasarkan studi kasus mengenai masalah *urban rail transportation* dengan uji optimalitas 2 metode, ditemukan pengalokasian dana sebesar 750.000 USD untuk pemantauan keselamatan, 1.395.000 USD untuk alat berat, 2.000.000 USD untuk *tractive power supply*, 4.830.000 USD untuk analisis permintaan penumpang, dan 1.475.000 USD untuk *train graph*, dengan total minimisasi mencapai 10.450.000 USD.

4.2 Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan di atas akan disampaikan saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Penelitian ini dibatasi oleh pembangunan kereta api ringan pada masalah *urban rail transportation* yang terjadi di negara berkembang, Nigeria. Diharapkan ada penelitian lebih lanjut untuk pembangunan sistem perkeretaapian yang lebih modern, seperti Subway atau Maglev (Magnetic Levitation) serta pada negara berkembang yang memiliki kesiapan SDM lebih kuat.
2. Pada penelitian ini dibatasi untuk menyelesaikan masalah *urban rail transportation* tidak seimbang dengan menggunakan metode MMODI dan MM yang memerlukan dummy. Diharapkan dapat menggunakan metode *Shootout* atau metode *Max-Min* yang bisa diselesaikan tanpa perlu adanya tambahan dummy.
3. Penelitian ini menggunakan data sederhana pada pembangunan *urban rail transportation* di Nigeria yang telah diinterpretasi. Diharapkan ada penelitian lanjutan mengenai *urban rail transportation* dengan data yang lebih rinci dan matang.
4. Peneliti yang berminat untuk menerapkan metode MMODI dan MM dalam studi kasus nyata diharapkan dapat menciptakan perangkat lunak atau *software* untuk kedua metode tersebut. Hal ini bertujuan untuk mempermudah pengguna dalam menyelesaikan matriks atau masalah berskala besar, sehingga prosesnya tidak memakan waktu yang lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Afiani, M., Setiawani, S., & Setiawan, T. B. (2019). Penerapan Modified Vogel'S Approximation Method (Mvam) Untuk Meminimumkan Biaya Transportasi (Studi Kasus: Pabrik Tahu Taufik). *Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi*, 16(2), 143. <https://doi.org/10.20956/jmsk.v16i2.7349>
- Agarana, M. C., Anake, T. A., & Okagbue, H. I. (2016). Optimization of Urban Rail Transportation in Emerging Countries Using Operational Research Techniques. *Applied Mathematics*, 07(10), 1116–1123. <https://doi.org/10.4236/am.2016.710099>
- Amelia, T. A., & Karo karo, I. M. (2024). ANALISIS PREDIKSI JUMLAH PENUMPANG KERETA API MENGGUNAKAN METODE MONTE CARLO (STUDI KASUS : PT.KAI WILAYAH SUMATERA BARAT). 13(April 2023), 237–242.
- Asimeng, E. T., & Altenburg, T. (2022). How does urban rail development in China and India enable technological upgrading? In *IDOS Discussion Paper*. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/267723/1/1824515162.pdf>
- Bustani, H. (2005). *Fundamental Operation Research*. Gramedia Pustaka Utama.
- Choiriyah, S., Ferdaus Noor Aulady, M., tria Nuciferani, F., Listyaningsih, D., & Subhan Adillah, A. (2024). Analisis Produktivitas Alat Berat Proyek Pembangunan Jalur Ganda Kereta Api. *Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 7(1), 51–58. <https://doi.org/10.25139/jprs.v7i1.7879>
- Dhito, M. (2008). *Pemanfaatan Teori Graf untuk Menguraikan Permasalahan dalam Pemodelan Persoalan Penjadwalan Kereta Api*.
- Geography, I. (2024). *Location of Lagos*. Internet Geography. <https://www.internetgeography.net/topics/location-of-lagos/>
- Gupta, R. K. (2010). *Operation Research* (1st ed.). Krishna Prakashan Media.
- Haq, M. A. I. (2024). KERJA SAMA ENERGI ANTARA NIGERIA DAN CHINA DALAM BIDANG INDUSTRI MINYAK TAHUN 2019-2021. 01. <https://doi.org/https://doi.org/10.36859/gij.v1i1.2463>
- Harahap, L. M., Ambarita, C. M. B., Cahyati, D. U., Sihotang, M. M., Situmorang, R., & Silaban, M. Y. (2023). Comparison of the Effectiveness of the Stepping Stone Method and the Modified Distribution (MODI) Method for Optimizing Transportation Costs. *Economic: Journal Economic and Business*, 2(3), 72–76. <https://doi.org/10.56495/ejeb.v2i3.612>
- Haryono, Y. (2015). Penyelesaian Masalah Model Transportasi dengan

- Menggunakan Metode Simpleks Transportasi. *Lemma*, I(2), 71–77.
- Jain, A., Viyas, R., Eee, I. I. I. Y. B. E., & Ece, I. I. I. Y. B. E. (2007). *Onboard Dynamic Rail Track Safety Monitoring System*. 12–15.
- Johannes, S. (2006). *Riset Operasi untuk Pengambilan Keputusan*. University of Indonesia.
- Kakiay, T. J. (2008). *Pemrograman Linier*. Penerbit Andi.
- Kaur, L., Rakshit, M., & Singh, S. (2019). An alternate approach for finding the initial basic feasible solution of transportation problem. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(9), 442–447.
- Korayem, A. H., Khajepour, A., & Fidan, B. (2022). A Review on Vehicle-Trailer State and Parameter Estimation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 5993–6010. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3074457>
- Kurdhi, N. A., Kartika, I. M., MA, S. M., Suparman, A., SI, S., Kom, M., ... & Suwandana, I. M. A. (2023). *Riset Operasi untuk Ekonomi*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Lasmana, A. (2021). Metode Transportasi Pada Program Linear Untuk Pendistribusian Barang Transportation Method in Linear Programming for Goods Distribution Ajat Lasmana. *Jurnal Matematika*, 20(1), 35–41.
- Maharana, M. (2017). A New approach for Solving Transportation Problem. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 3(1). <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2019.4.3-054>
- Meflinda, A., & Mahyarni. (2011). Riset Operasi.pdf. In *Unri Press* (p. 114).
- Mokoginta, D., Sudarwadi, D., Fauzi, M. J., Priambodo, A., & Ucu, N. (2024). *OPERATION RESEARCH*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Munir, R. (2015). Kompleksitas Algoritma. In *STEI ITB*.
- Mussafi, N. S. M. (2016). Application of cutting stock problem in minimizing the waste of Al-Quran cover. *Kaunia*, XII(April), 17–22.
- Mussafi, N. S. M. (2022). *Handout Riset Operasi*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Nufus, H., & Nurdin, E. (2016). *Program Linear*. Cahaya Firdaus.
- Odeleye, J. A. (2000). Public – Private Participation to Rescue Railway Development in Nigeria. *Japan Railway & Transport Review*, 23(March), 42–49.

- Olievschi, V. N. (2013). Rail Transport (Framework for improving railway sector performance in sub-sahara africa). In *Regulating Transport in Europe* (Issue 94). <https://doi.org/10.4337/9781781004838.00008>
- Pachl, J. (2021). *Railway Signalling Principles*. 83.
- Pandian, & Natarajan, G. P. (2010). *A new method for finding an optimal more-for-less solution of transportation problems with mixed constraints*.
- Pratihari, J., Kumar, R., Edalatpanah, S. A., & Dey, A. (2021). Modified Vogel's approximation method for transportation problem under uncertain environment. *Complex and Intelligent Systems*, 7(1), 29–40. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00153-4>
- Purnawan, A., & Pratiwi, F. (2019). *PEMBANGUNAN JALUR GANDA REL KERETA API The Procurement Of Land For Construction Of Double Track Railway Traffic Pekalongan- Semarang In Village Krobokan*. 128–142.
- Rahayu, Y. N., & Arifudin, O. (2020). *Program Linier (Teori dan Aplikasi)*. CV WIDINA MEDIA UTAMA.
- Raihan, A. W. (2021). Pengertian Negara. *Sinar Grafika, edisi ke-1*(Pengertian Negara), 128. <https://www.google.com/search?q=pengertian+negara&oq=pengertian+negara+&aqs=chrome..69i57j0l9.3142j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8#>
- Ramadhan, M. R. (2024). *Penyelesaian Masalah Transportasi Himpunan Fuzzy Tipe-2 Interval (IT2FS) Menggunakan Metode MVAM dan IVAM serta Uji Optimasi Menggunakan MMODI*. UIN Sunan Kalijaga.
- Rashid, F., Khan, A. R., & Uddin, S. (2021). Mixed constraints cost minimization transportation problem : An effective algorithmic approach. *American Journal of Operational Research*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.5923/j.ajor.20211101.01>
- Sabbagh, M. S., Ghafari, H., & Mousavi, S. R. (2015). *A new hybrid algorithm for the balanced transportation problem*. 82, 115–126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.01.018>.
- Sari, A. N. M., & Musthofa, M. W. (2021). Aplikasi Metode MM dalam Menyelesaikan Masalah Distribusi Kelapa Sawit di PT. AGRO MUKO. *Ujme*, 5(3). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujme>
- Soomro, A. S., Junaid, M., Tularam, G. A., Science, C., Scholar, M. P., Science, C., Lecturer, S., & Engineering, S. E. (2015). Modified Vogel ' s Approximation Method For Solving. *Mathematical Theory and Modeling*, 5(4), 32–42.

- Susanta, B. (1994). *Program Linear*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- Syaifuddin, D. T. (2011). Riset Operasi. In *Jurnal Matematika* (Vol. 6, Issue 2, pp. 40–51).
- Todaro, Michael P and Smith, S. C. (2020). *Economic Development*. Pearson UK.
- UITP. (2022). *Lagos Rail Mass Transit (LRMT)-Blue Line*. <https://www.uitp.org/case-studies/lagos-rail-mass-transit-lrmt-blue-line/>
- Ullah, M., Uddin, M., Applied, R. K.-A. of P. and, & 2016, undefined. (2016). A modified Vogel's approximation method for obtaining a good primal solution of transportation problems. *Researchmathsci.Org*, 11(1), 2279–0888. <http://www.researchmathsci.org/apamart/apam-v11n1-7.pdf>
- Vargas, J., Goytia, C., Sanguinetti, P., Alvarez, F., Estrada, R., Brassiolo, P., Fajardo, G., & Daude, C. (2018). Urban growth and access to opportunities : A challenge for Latin America. In *CAF* (Vol. 11, Issue 1). http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Wira, A. (2023). *Rel Kereta Api di sepanjang Sabuk dan Jalan, Megaprojek yang mengubah Nigeria*. Radio Bharata Online. <https://bharataradio738.com/beritalengkap/FrwXcngVY1>
- World Bank. (2014). *International Development Association: Project Appraisal Document on a Proposed Credit: Report No: 78925-TZ*.