

TUGAS AKHIR

**PENYELESAIAN MASALAH TRANSPORTASI HIMPUNAN
FUZZY TIPE-2 INTERVAL (IT2FS) MENGGUNAKAN
METODE MVAM DAN IVAM SERTA UJI OPTIMASI
MENGGUNAKAN METODE MMODI**



MUHAMMAD RIDHO RAMADHAN

20106010051

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2024

**PENYELESAIAN MASALAH TRANSPORTASI HIMPUNAN
FUZZY TIPE-2 INTERVAL (IT2FS) MENGGUNAKAN
METODE MVAM DAN IVAM SERTA UJI OPTIMASI
MENGGUNAKAN METODE MMODI**

Tugas Akhir

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1
Program Studi Matematika



diajukan oleh

MUHAMMAD RIDHO RAMADHAN

20106010051

Kepada

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2024



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 : Muhammad Ridho Ramadhan

NIM : 20106010051

Judul Skripsi : Penyelesaian Masalah Transportasi Himpunan Fuzzy Tipe-2 Fuzzy Interval (IT2FS) Menggunakan Metode MVAM dan IVAM Serta Uji Optimasi Menggunakan Metode MMODI

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 17 Mei 2024

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-867/Un.02/DST/PP.00.9/06/2024

Tugas Akhir dengan judul : Penyelesaian Masalah Transportasi Himpunan Fuzzy Tipe-2 Interval (IT2FS) Menggunakan Metode MVAM dan IVAM Serta Uji Optimasi Menggunakan Metode MMODI

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MUHAMMAD RIDHO RAMADHAN
Nomor Induk Mahasiswa : 20106010051
Telah diujikan pada : Senin, 27 Mei 2024
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: 665ebfe69f458



Penguji I

Dr. Muhammad Wakhid Musthofa, S.Si.,
M.Si.
SIGNED

Valid ID: 665470c9d67b3



Penguji II

Arif Munandar, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 66554b797ecf8



Yogyakarta, 27 Mei 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 665fdfc550ba1

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Ridho Ramadhan
NIM : 20106010051
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, 20 Mei 2024



Muhammad Ridho Ramadhan

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN



Karya tulis ini dipersembahkan kepada kedua orang tua dan almamater Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

HALAMAN MOTTO



*"Lakukan apa yang kau mau sekarang, saat hatimu bergerak jangan kau larang
Hidup ini tak ada artinya, maka kau bebas mengarang maknanya seorang".*

(Hindia)

PRAKATA

Allhamdulillahirabbil'alam, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat, serta hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Penyelesaian Masalah Transportasi Himpunan *Fuzzy* Tipe-2 Interval Menggunakan Metode MVAM dan IVAM Serta Uji Optimal Menggunakan MMODI". Penulisan skripsi ini diselesaikan sebagai salah satu prasyarat mencapai gelar Sarjana Matematika.

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

1. Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Muchammad Abrori, S.Si., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Matematika.
3. Sri Istiyarti Uswatun Chasanah, M.Si., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan pengarahan kepada penulis selama menempuh pendidikan.
4. Noor Saif Muhammad Mussafi, S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.

5. Seluruh dosen dan staf Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan ilmu bermanfaat dan memberikan pelayanan administrasi akademik.
6. Orang Tua saya tercinta.
7. Pihak lain yang berperan dalam pengerjaan skripsi.
8. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan yang secara langsung maupun tidak langsung membantu terselesainya skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua yang membacanya. Penulis juga berharap kritik dan saran yang membangun.

Yogyakarta, 27 Mei 2024



Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMBANG	xvii
INTISARIxviii
ABSTRACT	xix
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Tujuan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Tinjauan Pustaka	7
1.7. Metode Penelitian	10
1.8. Sistematika Penulisan	12
II DASAR TEORI	13

2.1. Riset Operasi	13
2.2. Program Linier	16
2.3. Masalah Transportasi	17
2.3.1. Masalah Transportasi Seimbang	20
2.3.2. Masalah Transportasi Tak Seimbang	21
2.4. Penyelesaian Solusi Layak Awal (<i>Basic Feasible Solution</i>)	26
2.4.1. Metode Sudut Barat Laut (<i>Northwest Corner</i>)	27
2.4.2. Metode Biaya Terkecil (<i>Least Cost Method</i>)	29
2.4.3. Metode <i>Vogell's Approximation Method</i> (VAM)	33
2.4.4. Metode <i>Improved Vogel's Approximation Method</i> (IVAM)	36
2.4.5. Metode Modifikasi <i>Vogel's Approximation Method</i> (MVAM)	44
2.5. Penyelesaian Solusi Optimal untuk Masalah Transportasi (Uji Op- timasi)	45
2.5.1. Metode <i>Stepping Stone</i>	45
2.5.2. Metode <i>Modified Distribution</i> (MODI)	49
2.6. Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Fungsi Keanggotaan	54
2.6.1. α -cut dan <i>strong</i> α -cut	58
III HIMPUNAN FUZZY TIPE-2 INTERVAL	60
3.1. Himpunan <i>Fuzzy</i> Tipe-2 (T2FS)	60
3.2. Himpunan <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval (IT2FS)	60
3.2.1. Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval	63
3.3. Metode Peringkat Baru Berdasarkan Nilai <i>Centroid</i> Bentuk IT2FS	64
3.3.1. Algoritma Karnik-Mendel Untuk Menghitung Titik <i>Switch</i> L	66
3.3.2. Algoritma Karnik-Mendel Untuk Menghitung Titik <i>Switch</i> R	67
IV PEMBAHASAN	69
4.1. Masalah Transportasi <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval (IT2FS)	69

4.2. Algoritma Penyelesaian Solusi Layak Awal Metode Modifikasi Vogel's Approximation Method (MVAM)	70
4.3. Algoritma Penyelesaian Solusi Layak Awal Metode Improved Vogel's Approximation (IVAM)	73
4.4. Penyelesaian Uji Optimasi Metode Modifikasi MODI (MMODI)	76
4.5. Contoh Numerik Penyelesaian Transportasi <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval	78
4.5.1. Mencari Nilai <i>Centroid</i>	80
4.5.2. Penyelesaian Solusi Layak Awal Metode MVAM	100
4.5.3. Penyelesaian Solusi Layak Awal Metode IVAM	104
4.5.4. Uji Optimasi Metode MMODI	109
V PENUTUP	117
5.1. Kesimpulan	117
5.2. Saran	118
DAFTAR PUSTAKA	120
LAMPIRAN	123
A PENYELESAIAN NILAI <i>CENTROID</i> (MATLAB)	123
B PENYELESAIAN NILAI <i>CENTROID</i> (MATLAB)	126
Curriculum Vitae	129

DAFTAR TABEL

1.1	Tinjauan Pustaka	9
2.1	Masalah Transportasi	19
2.2	Masalah Transportasi Seimbang Powerco	23
2.3	Masalah Transportasi Tak Seimbang Powerco	24
2.4	Tabel Masalah Transportasi Tak Seimbang Waduk	25
2.5	Tabel Awal Metode LCM Masalah Transportasi	30
2.6	Tabel Penyelesaian Metode LCM Pada Masalah Transportasi	32
2.7	Tabel Awal Metode VAM Pada Masalah Transportasi	34
2.8	Iterasi 1 Metode VAM Pada Masalah Transportasi	34
2.9	Iterasi 2 Metode VAM Pada Masalah Transportasi	35
2.10	Iterasi 3 Metode VAM Pada Masalah Transportasi	35
2.11	Penyelesaian Solusi Layak Awal Metode VAM Pada Masalah Trans- portasi	35
2.12	Tabel Awal Metode IVAM Pada Masalah Transportasi	38
2.13	Matriks <i>Row Opportunity Cost</i> dan <i>Column Opportunity Cost</i>	39
2.14	Matriks <i>Total Opportunity Cost (TOC)</i>	40
2.15	Iterasi 1 Metode IVAM Pada Masalah Transportasi	41
2.16	Iterasi 2 Metode IVAM Pada Masalah Transportasi	42
2.17	Iterasi 3 Metode IVAM Pada Masalah Transportasi	43
2.18	Perhitungan Terakhir Metode IVAM Pada Masalah Transportasi	43
2.19	Penyelesaian Solusi Optimum Metode IVAM Pada Masalah Trans- portasi	44
2.20	Tabel Awal Metode Stepping Stone Pada Masalah Transportasi	47

2.21	Tabel Penyelesaian Solusi Layak Awal Metode NWC	47
2.22	Iterasi 1 Metode Stepping Stone Pada Masalah Transportasi	48
2.23	Iterasi 2 Metode Stepping Stone Pada Masalah Transportasi	48
2.24	Iterasi 3 Metode Stepping Stone Pada Masalah Transportasi	49
2.25	Tabel Penyelesaian Awal Metode NWC Pada Masalah Transportasi	50
2.26	Iterasi 1 Metode MODI Pada Masalah Transportasi	51
2.27	Iterasi 2 Metode MODI Pada Masalah Transportasi	52
2.28	Iterasi 3 Metode MODI Pada Masalah Transportasi	53
2.29	Tabel Kepuasan Keluarga Terhadap Jumlah Kamar	56
4.1	Masalah Transportasi <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval (IT2FS)	70
4.2	Sel Biaya Masalah Transportasi Bentuk IT2FS	78
4.3	Supply dan Demand Bentuk IT2FS	78
4.4	Contoh Masalah Transportasi IT2FS	79
4.5	Nilai <i>Centroid</i>	99
4.6	Iterasi 1 Metode MVAM Masalah Transportasi IT2FS	101
4.7	Iterasi 2 Metode MVAM Masalah Transportasi IT2FS	101
4.8	Iterasi 3 Metode MVAM Masalah Transportasi IT2FS	102
4.9	Iterasi 4 Metode MVAM Masalah Transportasi IT2FS	102
4.10	Iterasi 5 Metode MVAM Masalah Transportasi IT2FS	103
4.11	Iterasi 6 Metode MVAM Masalah Transportasi IT2FS	103
4.12	Solusi Layak Awal Metode MVAM	104
4.13	Matriks <i>Row Opportunity Cost</i> dan <i>Column Opportunity Cost</i> Pada Masalah Transportasi IT2FS	105
4.14	Matriks <i>Total Opportunity Cost</i> Masalah Transportasi IT2FS	106
4.15	Iterasi 1 Metode IVAM Masalah Transportasi IT2FS	107
4.16	Iterasi 2 Metode IVAM Masalah Transportasi IT2FS	108

4.17 Solusi Layak Awal Metode IVAM dengan Biaya Transportasi dari TOC Matriks	108
4.18 Solusi Layak Awal Metode IVAM Masalah Transportasi IT2FS . . .	109
4.19 Solusi Layak Awal Masalah Transportasi IT2FS	110
4.20 Tabel Awal Metode MMODI	110
4.21 Iterasi 1 Metode MMODI	111
4.22 Iterasi 2 Metode MMODI	112
4.23 Solusi Optimal Metode MMODI	113
4.24 Penyelesaian Solusi Layak Awal Masalah Transportasi Contoh 4.5.1	116
4.25 Penyelesaian Solusi Optimal Masalah Transportasi Contoh 4.5.1 . .	116

DAFTAR GAMBAR

1.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	11
2.1 Skema Masalah Transportasi	18
2.2 Himpunan <i>Fuzzy</i> Tipe-1 Trapesium	55
2.3 Fungsi Keanggotaan Segitiga <i>Fuzzy</i>	57
2.4 Fungsi Keanggotaan Trapesium <i>Fuzzy</i>	58
3.1 Fungsi Keanggotaan Himpunan <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval (IT2FS) \tilde{A}	62
3.2 Fungsi Keanggotaan Himpunan <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval (IT2FS) \tilde{A}_i dengan Kondisi Ketidakpastian atau <i>Footprint of Uncertainty</i> (FOU)	62
4.1 <i>Flowchart</i> dari metode modifikasi Vogel's approximation (MVAM)	72
4.2 <i>Flowchart</i> Metode <i>Improved Vogel's Approximation</i> (IVAM)	75
4.3 <i>Flowchart</i> Metode (MMODI)	77
4.4 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{11}	80
4.5 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{12}	81
4.6 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{13}	82
4.7 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{14}	83
4.8 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{21}	84
4.9 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{22}	85
4.10 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{23}	86
4.11 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{24}	87
4.12 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{31}	88
4.13 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{32}	89
4.14 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{33}	90

4.15 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{C}_{34}	91
4.16 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{S}_1	92
4.17 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{S}_2	93
4.18 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{S}_3	94
4.19 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{D}_1	95
4.20 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{D}_2	96
4.21 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{D}_3	97
4.22 Bentuk <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval dari \tilde{D}_4	98
4.23 Solusi Optimal Masalah Transportasi IT2FS	115

DAFTAR LAMBANG

- $\text{Min } Z$: Minimum Z
- $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij}$: penjumlahan $c_{11}x_{11} + c_{21}x_{21} + \dots + c_{mn}x_{mn}$
- $\sum_{i=1}^m a_i$: penjumlahan $a_1 + a_2 + \dots + a_m$
- $\sum_{j=1}^n b_j$: penjumlahan $b_1 + b_2 + \dots + b_n$
- c_{ij} : biaya pengiriman dari sumber ke- i menuju tujuan ke- j
- a_i : kapasitas persediaan (*supply*) pada sumber ke- i
- b_j : permintaan (*demand*) pada sumber ke- j
- \tilde{A} : himpunan *fuzzy* tipe-2 interval A
- $\mu_{\tilde{A}}(x)$: derajat keanggotaan x dalam himpunan *fuzzy* tipe-2 interval A
- \tilde{A}^U : fungsi keanggotaan atas himpunan *fuzzy* tipe-2 interval A
- \tilde{A}^L : fungsi keanggotaan bawah himpunan *fuzzy* tipe-2 interval A
- $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij}\tilde{x}_{ij}$: penjumlahan $\tilde{c}_{11}\tilde{x}_{11} + \tilde{c}_{21}\tilde{x}_{21} + \dots + \tilde{c}_{mn}\tilde{x}_{mn}$
- $\sum_{i=1}^m \tilde{s}_i$: penjumlahan $\tilde{s}_1 + \tilde{s}_2 + \dots + \tilde{s}_m$
- $\sum_{j=1}^n \tilde{d}_j$: penjumlahan $\tilde{d}_1 + \tilde{d}_2 + \dots + \tilde{d}_n$
- \tilde{s}_i : kapasitas *supply* bentuk *fuzzy* tipe-2 interval pada sumber ke- i
- \tilde{d}_j : *demand* bentuk *fuzzy* tipe-2 interval pada sumber ke- j
- \tilde{c}_{ij} : biaya pengiriman dalam bentuk *fuzzy* tipe-2 interval dari sumber ke- i menuju tujuan ke- j
- : akhir suatu bukti

INTISARI

PENYELESAIAN MASALAH TRANSPORTASI HIMPUNAN *FUZZY* TIPE-2 INTERVAL (IT2FS) MENGGUNAKAN METODE MVAM DAN IVAM SERTA UJI OPTIMASI MENGGUNAKAN METODE MMODI

Oleh

MUHAMMAD RIDHO RAMADHAN

20106010051

Masalah transportasi merupakan masalah meminimumkan total biaya transportasi pendistribusian produk dari m sumber ke n tujuan. Ketidakyakinan pembuat keputusan terhadap biaya operasional, jumlah persediaan dan jumlah permintaan yang dipengaruhi oleh banyak faktor menyebabkan terjadinya perubahan pada bentuk estimasi nilai yang selanjutnya dapat diformulasikan ke dalam himpunan bilangan *fuzzy* tipe-2 interval. Dalam skripsi ini penulis menggunakan himpunan bilangan *fuzzy* tipe-2 interval. Masalah transportasi ini dinamakan masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS). Metode yang digunakan untuk menentukan penyelesaian masalah transportasi IT2FS adalah metode MVAM dan IVAM untuk menentukan solusi layak awal serta metode MMODI untuk menentukan uji optimasi. Metode tersebut dikombinasikan dengan metode peringkat baru berdasarkan nilai *centroid* untuk mengubah bentuk IT2FS ke dalam bentuk bilangan tegas. Hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa metode IVAM lebih efektif karena memerlukan 2 kali proses iterasi untuk mendapatkan solusi layak awal sedangkan metode MVAM memerlukan 6 kali iterasi. Solusi optimal dari masalah transportasi IT2FS merupakan merupakan bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval yaitu $((33, 21 \ 56, 14 \ 75, 28 \ 103, 59), (56, 33 \ 65, 08 \ 71, 79 \ 0, 27))$.

Kata kunci : IVAM, masalah transportasi *fuzzy* tipe-2 interval, MMODI, MVAM, nilai *centroid*.

ABSTRACT

SOLVING INTERVAL TYPE-2 FUZZY SET (IT2FS) TRANSPORTATION PROBLEM USING MVAM AND IVAM METHODS AND OPTIMIZATION TEST USING MMODI METHOD

By

MUHAMMAD RIDHO RAMADHAN

20106010051

The transportation problem is a problem of minimizing the total transportation cost of distributing products from m sources to n destinations. The decision-maker's uncertainty regarding operational costs, inventory levels, and demand quantities influenced by various factors leads to changes in the estimation of values, which can subsequently be formulated into sets of fuzzy type-2 interval numbers. In this thesis, the author employs sets of fuzzy type-2 interval numbers. This transportation problem is referred to as the transportation problem with interval type-2 fuzzy sets (IT2FS). The methods used to determine the solution to the IT2FS transportation problem are the MVAM and IVAM methods for determining feasible initial solutions, along with the MMODI method for optimality test. These methods are combined with the new ranking method based centroid value to transform the IT2FS into crisp numbers. The obtained results represent the form of interval type-2 fuzzy sets. The result of dummy case show that IVAM is more efficient than MVAM in terms of the number of iteration. The optimal solution from transportation IT2FS problem is $((33, 21 \ 56, 14 \ 75, 28 \ 103, 59), (56, 33 \ 65, 08 \ 71, 79 \ 0, 27))$.
Keyword : *centroid* value, interval type-2 *fuzzy* set (IT2FS) transportation problem, IVAM, MMODI, MVAM.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Masalah transportasi merupakan sebuah permasalahan khusus dalam program linier. Program linier sendiri merupakan suatu teknik aplikasi matematika yang digunakan untuk merumuskan solusi optimal dalam memaksimalkan atau meminimumkan suatu variabel tertentu, dengan mematuhi sejumlah batasan yang telah ditentukan. Teknik ini dikenal sebagai teknik optimalisasi (Stapleton, 2003). Dalam perkembangannya, teknik optimasi juga dilakukan dalam penyelesaian masalah transportasi.

Pada tahun 1939, L. V. Kantorovitch mempelajari model transportasi, dan pada tahun 1941, F. L. Hitchcock merumuskan model matematika yang saat ini diakui sebagai model standar dalam memecahkan masalah transportasi (Mulyono, 2004). Masalah transportasi sendiri adalah permasalahan yang berkaitan dengan distribusi suatu komoditas atau produk dari berbagai sumber menuju ke sejumlah tujuan. Masalah transportasi biasa memiliki biaya persediaan dan permintaan yang diberikan berbentuk bilangan real, yaitu bilangan tegas. Solusi yang didapatkan dihitung berdasarkan permintaan dan persediaan. Hal ini telah diterapkan dalam banyak bidang seperti pengendalian optimal, penyimpanan, manajemen logistik, dan manajemen rantai persediaan.

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang matematika, penerapan masalah transportasi juga ikut mengalami perkembangan dengan

ditandai adanya perubahan paradigma yang berkaitan dengan kendala ketidakpastian yang mulai diperhitungkan keberadaannya. Salah satu kendala ketidakpastian diantaranya, yaitu ketidakpastian data akibat dari kebijakan perusahaan maupun kurangnya informasi. Seperti suatu perusahaan yang mengalami kendala ketidakpastian permintaan konsumen, ketidakpastian ketersediaan jumlah barang yang akan dikirimkan, dan naik turunnya harga (biaya) pengiriman barang tersebut.

Ketidakpastian informasi dalam membuat keputusan dapat ditangani oleh konsep ketidakpastian atau *fuzzy*. Pada tahun 1965 L.A. Zadeh memperkenalkan konsep ketidakpastian atau *fuzzy* sebagai solusi dari pemecahan masalah yang ada pada himpunan tegas. Ketidakpastian sistem pada kehidupan nyata dalam membuat keputusan menjadi dasar dari munculnya himpunan *fuzzy*. Munculnya *fuzzy* juga sangat berdampak besar terhadap perubahan pandangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Konsep *fuzzy* sering digunakan dalam masalah transportasi, yang dikenal sebagai masalah transportasi *fuzzy*. Masalah transportasi *fuzzy* merupakan masalah transportasi yang parameter keputusannya berupa bilangan *fuzzy* (Mohanaselvi dan Ganesan, 2012). Bilangan *fuzzy* merupakan salah satu penggambaran matematis untuk ungkapan-ungkapan *mendekati*, *hampir*, atau *sekitar* (Pandian dan Natarajan, 2010). Masalah transportasi *fuzzy* banyak ditemukan dalam kehidupan nyata seperti masalah transportasi seimbang, masalah transportasi tak seimbang, masalah *computer networks*, *routing*, *shortest path problems* dan lain-lain.

Peneliti seperti Liou dan Wang (1992), Kaur dan Kumar (2011), Sudhagar dan Ganesan (2012), Ebrahimnejad (2014) serta Hunwisai dan Kumam (2017) memberikan solusi dengan konsep perankingan bilangan *fuzzy* yaitu melakukan konversi biaya transportasi, jumlah permintaan, dan jumlah persediaan dalam ben-

tuk bilangan *fuzzy* menjadi bentuk bilangan tegas (*crisp number*). Meskipun demikian, penggunaan himpunan *fuzzy* biasa tipe-1 ternyata memiliki keterbatasan dalam mendapatkan derajat keanggotaan yang akurat, terutama saat berhadapan dengan informasi yang kurang memadai.

Melihat tantangan tersebut, Zadeh mengusulkan evolusi konsep himpunan *fuzzy* ke arah yang lebih maju. Setelah sekitar 10 tahun memperkenalkan T1FS (himpunan *fuzzy* tipe 1), Zadeh membawa inovasi dengan memperkenalkan T2FS (himpunan *fuzzy* tipe 2). Himpunan *fuzzy* tipe 2 merupakan pengembangan dari himpunan *fuzzy* tipe 1 (T1FS) yang bisa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini. Zadeh mendeskripsikan T2FS sebagai himpunan *fuzzy*, yang merupakan pemetaan dari U ke $[0, 1]$ dengan fungsi keanggotaan dari himpunan ini, diklasifikasikan sebagai tipe 1 (Zadeh, 1975). T1FS tidak mewakili dengan baik untuk mendapatkan nilai pasti dari derajat keanggotaan.

Mendel dan Karnik telah meningkatkan jumlah derajat kebebasan untuk himpunan *fuzzy*. Oleh karena itu, T2FS merupakan pengembangan dari T1FS ke derajat yang lebih tinggi. T2FS memiliki tingkat keanggotaan keanggotaan yang ditentukan oleh T1FS. Fungsi keanggotaan dari T2FS dikenal sebagai fungsi keanggotaan sekunder. T2FS meningkatkan jumlah derajat keanggotaan untuk menangani ambiguitas masalah T2FS dan memiliki kemampuan yang lebih baik untuk menangani informasi yang tidak tepat (Mendel, 2007).

Himpunan *fuzzy* tipe-2 (T2FS) yang tergeneralisasi menuntut untuk komputasi, kebanyakan peneliti menggunakan himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) dalam bidang praktis (Kar, 2018). Komputasi dalam IT2FS lebih mudah dibanding dengan generalisasi T2FS. Fungsi keanggotaan IT2FS maupun fungsi keanggotaan umum dari *fuzzy* merupakan tiga dimensi, namun nilai keanggotaan sekunder dari

fungsi keanggotaan IT2F selalu sama dengan 1.

Pada penelitian ini, bilangan *fuzzy* yang akan digunakan sebagai nilai estimasi setiap parameter masalah transportasi *fuzzy* adalah Himpunan *Fuzzy Tipe-2 Interval*. Metode untuk menentukan penyelesaian masalah transportasi *fuzzy* telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Pada penelitian ini, akan digunakan metode MVAM dan metode IVAM (Korukoğlu dan Balli, 2011) sebagai metode untuk menentukan penyelesaian solusi layak awal, dan metode modifikasi MODI untuk melakukan uji keoptimalan penyelesaian awal (Pratihar, 2020). Kedua metode tersebut dipilih karena dapat digunakan untuk menentukan penyelesaian yang optimal dari masalah transportasi himpunan *fuzzy tipe-2 interval*, dengan algoritma atau tahapan yang sederhana. Dalam penggunaan metode tersebut, juga akan digunakan metode perankingan nilai pusat (*centroid based rank*) pada sel biaya, permintaan (*demand*) dan persediaan (*supply*) untuk membuat bilangan *fuzzy* menjadi bilangan tegas (*crisp number*) (Karnik dan Mendel, 2001).

Berdasarkan latar belakang di atas penulis ingin melakukan penelitian tentang masalah transportasi himpunan *fuzzy tipe-2 interval* menggunakan studi kasus contoh numerik dengan judul "Penyelesaian Masalah Transportasi *Fuzzy Tipe-2 Interval* Menggunakan Metode MVAM dan IVAM serta Uji Optimal Menggunakan MMODI". Skripsi ini memperkenalkan konsep dasar pada masalah transportasi himpunan *fuzzy tipe-2 (IT2FS)*. Selanjutnya pembahasan skema konversi bentuk himpunan *fuzzy tipe-2 interval (IT2FS)* ke dalam bentuk bilangan tegas. Selanjutnya penyelesaian solusi layak awal menggunakan metode MVAM dan IVAM. Kemudian diakhiri dengan penentuan uji optimal menggunakan metode MMODI pada masalah transportasi himpunan *fuzzy tipe-2 interval (IT2FS)*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan batasan masalah yang telah diuraikan di atas, kemudian dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana konsep dasar masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS)?
2. Bagaimana skema konversi bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) ke dalam bentuk bilangan tegas?
3. Bagaimana penentuan solusi layak awal dari masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan metode MVAM dan IVAM, serta metode manakah yang lebih efektif berdasarkan hasil penelitian ini?
4. Bagaimana penentuan uji optimasi dari solusi awal MVAM dan IVAM pada masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan MMODI?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah tersebut, batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Masalah transportasi dalam bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS).
2. Skema konversi bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) ke dalam bentuk bilangan tegas menggunakan metode peringkat berdasarkan nilai *centroid*.
3. Studi kasus menggunakan contoh numerik masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) yang diadopsi dari suatu artikel ilmiah.

4. Perhitungan titik *switch* L dan R pada metode peringkat berdasarkan nilai *centroid* menggunakan algoritma Karnik-Mendel.
5. Metode penyelesaian solusi awal menggunakan metode MVAM dan IVAM.
6. Metode penyelesaian uji optimasi menggunakan metode MMODI.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penulis dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari konsep dasar masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS).
2. Mempelajari skema konversi bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) ke dalam bentuk bilangan tegas.
3. Mempelajari penyelesaian solusi layak awal dari masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan metode MVAM dan IVAM, serta mengidentifikasi metode manakah yang lebih efektif berdasarkan hasil penelitian ini.
4. Mempelajari penyelesaian uji optimasi dari solusi awal MVAM dan IVAM pada masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan metode MMODI.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman konsep dasar masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS).

2. Memberikan pemahaman skema konversi bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) ke dalam bentuk bilangan tegas.
3. Memberikan pemahaman penyelesaian solusi layak awal dari masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan metode MVAM dan IVAM, serta mengetahui metode yang lebih efektif berdasarkan hasil penelitian ini.
4. Memberikan pemahaman penyelesaian uji optimasi dari solusi awal MVAM dan IVAM pada masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan metode MMODI.

1.6. Tinjauan Pustaka

Sebagai acuan yang digunakan penulis untuk landasan teori dalam penulisan skripsi ini bersumber dari buku, makalah, jurnal dan skripsi.

1. Penelitian yang dilakukan oleh Jayanta Pratihar, Ranjan Kumar, S.A. Edalatpanah, dan Arindam Dey dengan judul "**Modified Vogel's Approximation Method for Transportation Problem Under Uncertain Environment**" pada tahun 2020. Penelitian ini memperkenalkan dua algoritma penyelesaian masalah transportasi *fuzzy* tipe-2 interval yaitu metode MVAM dan metode program linier (LPP). Jurnal ini membahas tentang bagaimana mencari biaya minimum pada masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan metode MVAM untuk mencari penyelesaian layak awal dan metode MMODI untuk uji optimasi. Hasil dari penelitian ini adalah algoritma metode klasik VAM dimodifikasi menjadi metode MVAM dengan melibatkan algoritma Karnik Mendel metode peringkat berdasarkan nilai *centroid* untuk mengkonversi bentuk IT2FS menjadi bilangan tegas. (Pratihari,2020).

2. Penelitian yang dilakukan oleh Jerry M. Mendel dan Dongrui Wu dengan judul **"A Comparative Study of Ranking Methods, Similarity Measures and Uncertainty Measures for Interval Type-2 Fuzzy Sets"** pada tahun 2008. Penelitian ini membahas tentang skema konversi bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval menggunakan metode peringkat berdasarkan nilai *centroid* (*new centroid-based ranking method*) menjadi bilangan tegas. Hasil dari penelitian ini adalah metode baru lebih baik dibandingkan metode lainnya untuk IT2FS (Wu dan Mendel,2008) .
3. Penelitian yang dilakukan oleh Serdar Korukogly dan Serkan Balli dengan judul **"An Improved Vogel's Approximation Method for the Transportation Problem"** pada tahun 2011. Penelitian ini membahas tentang penyelesaian solusi layak awal pada masalah transportasi menggunakan metode IVAM (*Improved Vogel's Approximation Method*). Hasil dari penelitian ini metode IVAM lebih baik dalam mencari solusi layak awal pada masalah transportasi (Korukoğlu dan Balli,2011).

Penelitian ini menggunakan referensi utama dari penelitian yang dilakukan oleh Jayanta Pratihardik dengan judul **"Modified Vogel's Approximation Method for Transportation Problem Under Uncertain Environment"**. Perbedaan antara penelitian ini dengan referensi utama terletak pada metode penyelesaian solusi layak awal menggunakan metode MVAM dan IVAM serta uji optimasi menggunakan metode MMODI.

Perbedaan lainnya pada penelitian ini akan ditambahkan penjelasan secara rinci setiap proses perhitungan termasuk perhitungan mengkonversi bentuk IT2FS menjadi bilangan tegas dalam menyelesaikan masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval. Penjelasan lebih detail mengenai perbedaan penelitian ini dengan

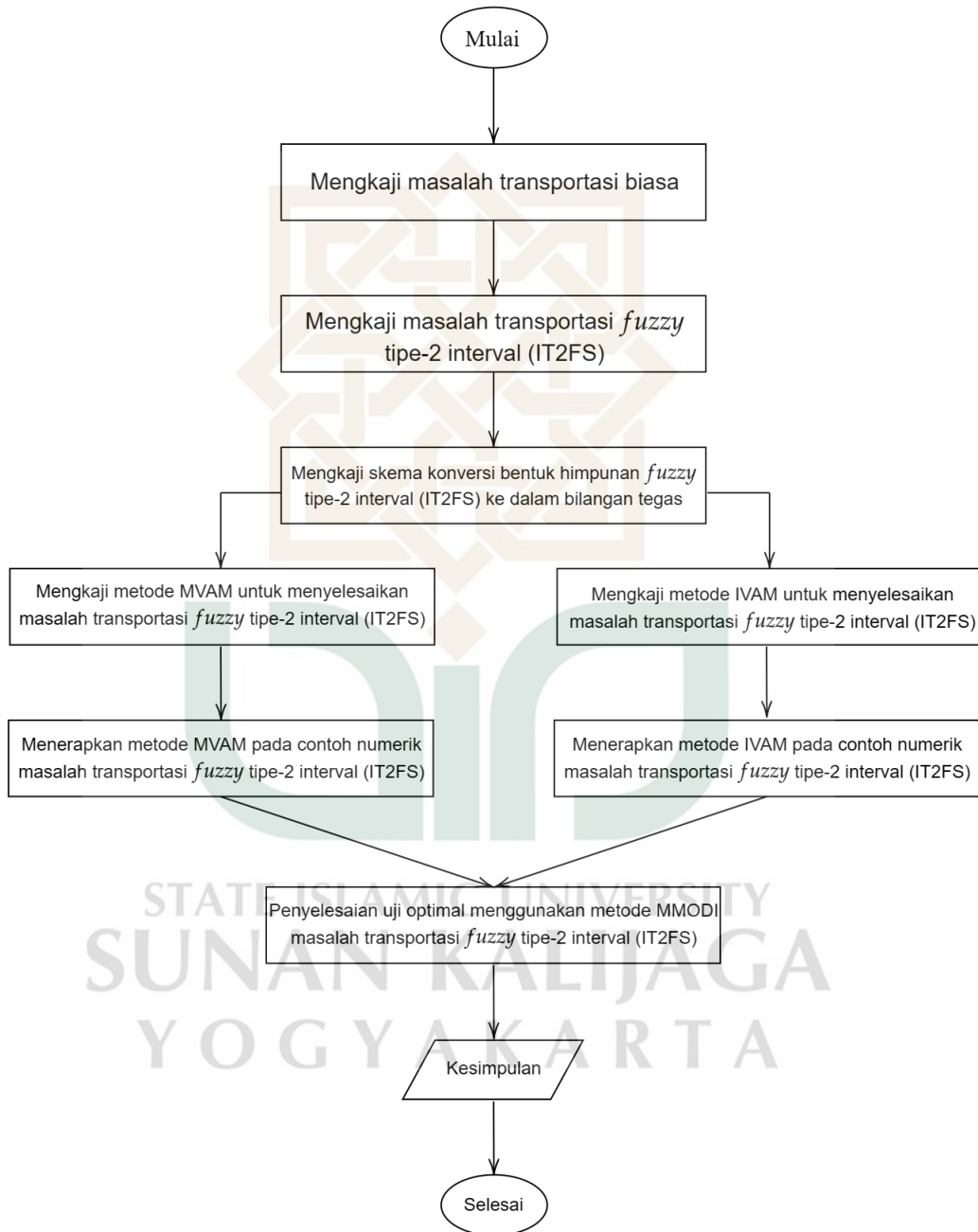
penelitian sebelumnya disajikan pada Tabel 1.1 berikut ini:

Tabel 1.1 Tinjauan Pustaka

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Perbedaan
Jayanta Pratihar, Ranjan Kumar, S.A. Edalatpanah dan Arindam Dey (2020)	Modified Vogel's Approximation Method for Transportation Problem Under Uncertain Environment	Pada penelitian ini penyelesaian solusi layak awal untuk masalah transportasi <i>fuzzy</i> tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan metode MVAM dan metode program linier (LPP). Kemudian untuk mencari uji optimal menggunakan metode MMODI.
Jerry M. Mendel dan Dongrui Wu (2008)	A Comparative Study of Ranking Methods, Similarity Measures and Uncertainty Measures for Interval Type-2 Fuzzy Sets	Pada penelitian ini menjelaskan skema konversi bentuk himpunan <i>fuzzy</i> tipe-2 interval menggunakan metode peringkat baru berdasarkan nilai <i>centroid</i> menjadi bilangan tegas. Hasil dari penelitian ini adalah metode peringkat baru berdasarkan nilai <i>centroid</i> lebih baik dibandingkan metode lainnya untuk mengubah bentuk IT2FS menjadi bilangan tegas.
Serdar Korukoglu dan Serkan Balli (2011)	An Improved Vogel's Approximation Method the Transportation Problem	Penelitian ini membandingkan metode IVAM dengan metode VAM untuk menyelesaikan solusi layak awal pada masalah transportasi. Diperoleh bahwa metode IVAM lebih efisien secara signifikan dalam mencari solusi layak awal pada masalah transportasi.
Muhammad Ridho Ramadhan (2024)	Penyelesaian Masalah Transportasi Himpunan <i>Fuzzy</i> Tipe-2 Interval (IT2FS) Menggunakan Metode MVAM dan IVAM serta Uji Optimasi Menggunakan Metode MMODI	Pada penelitian ini data yang dibahas diambil dari contoh numerik jurnal "Modified Vogel's Approximation Method for Transportation Problem Under Uncertain Environment". Metode yang digunakan yaitu metode MVAM dan metode IVAM untuk mencari solusi layak awal. Kemudian menggunakan metode MMODI untuk uji optimasi.

1.7. Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini metode yang digunakan adalah dengan melakukan studi literatur dan penelitian terapan. Studi literatur diambil dari buku-buku referensi, jurnal-jurnal terkait topik penelitian yaitu; konsep dasar masalah transportasi biasa, penyelesaian solusi layak awal pada masalah transportasi menggunakan metode IVAM, masalah transportasi *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS), skema konversi bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) ke dalam bentuk bilangan tegas dan penyelesaian solusi layak awal pada masalah transportasi *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan metode MVAM serta uji optimasi menggunakan metode MMODI. Dalam penelitian ini data yang digunakan merupakan contoh numerik masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) yang diadopsi dari suatu artikel ilmiah. *Flowchart* dari metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Flowchart Penelitian

1.8. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab, yaitu sebagai berikut:

- BAB 1** : Bab ini membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, tinjauan pustaka, metode penelitian dan sistematika penulisan.
- BAB 2** : Bab ini membahas tentang konsep dasar dari riset operasi, program linier, masalah transportasi, algoritma penyelesaian solusi layak awal metode NWC, LCM, VAM dan IVAM, uji optimasi metode MODI dan *stepping stone* pada masalah transportasi dan himpunan *fuzzy* serta fungsi keanggotaannya.
- BAB 3** : Bab ini membahas tentang himpunan *fuzzy* tipe-2 (T2FS), himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS), operasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval dan metode peringkat baru berdasarkan nilai *centroid* bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS).
- BAB 4** : Bab ini membahas tentang konsep dasar dari masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS), algoritma penyelesaian solusi layak awal metode MVAM dan IVAM, uji optimasi metode MMODI dan penyelesaian masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) menggunakan contoh numerik yang diadopsi dari suatu artikel ilmiah menggunakan metode MVAM dan IVAM serta uji optimasi menggunakan metode MMODI.
- BAB 5** : Bab ini berisikan tentang kesimpulan penelitian dan saran dari penulis terhadap pengembangan penelitian.

BAB V

PENUTUP

Bab penutup ini akan diberikan kesimpulan dan saran-saran yang dapat diambil berdasarkan materi-materi yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya.

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil setelah menyelesaikan penulisan skripsi ini adalah :

1. Masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) merupakan masalah transportasi dimana seluruh parameter serta variabel keputusannya berupa bilangan *fuzzy* tipe-2 interval. Model masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval terjadi karena pembuat keputusan tidak dapat memastikan nilai biaya transportasi, kapasitas *supply* dan kapasitas *demand* sehingga direpresentasikan dengan bilangan *fuzzy* tipe-2 interval. Fungsi tujuan dari model transportasi *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) memuat perkalian antara dua bilangan *fuzzy* tipe-2 interval trapesium, sehingga nilai objektif model transportasi *fuzzy* berupa bilangan *fuzzy* tipe-2 interval trapesium.
2. Penyelesaian masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) memerlukan skema konversi sebagai pendekatan untuk mengubah biaya transportasi, jumlah *supply* dan *demand* dalam bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval ke dalam bentuk bilangan tegas.
3. Penyelesaian solusi layak awal dari masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-

2 interval (IT2FS) dapat ditentukan dengan menggunakan salah satu dari metode *modified Vogel's Approximation* (MVAM) dan *improved Vogel's Approximation* (IVAM). Berdasarkan studi kasus contoh numerik pada penelitian ini metode MVAM dan IVAM menghasilkan solusi layak awal yang sama, metode IVAM lebih efektif daripada MVAM dalam aspek jumlah iterasi karena metode IVAM memerlukan 2 kali proses iterasi sedangkan metode MVAM memerlukan 6 kali proses iterasi. Solusi layak awal yang diperoleh menggunakan metode IVAM yaitu $x_{11} = 2,15$; $x_{13} = 3,29$; $x_{22} = 2,15$; $x_{23} = 1,78$; $x_{24} = 3,94$ dan $x_{34} = 2,56$. Adapun biaya transportasi yang diperoleh adalah 68,6016.

4. Penentuan uji optimasi dari solusi awal MVAM dan IVAM pada masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS) dapat ditentukan dengan menggunakan metode MMODI. Berdasarkan studi kasus contoh numerik pada penelitian ini, jumlah produk untuk solusi optimum yang diperoleh yaitu $x_{12} = 0,37$; $x_{13} = 5,07$; $x_{21} = 2,15$; $x_{22} = 1,78$; $x_{24} = 3,94$ dan $x_{34} = 2,56$. Adapun biaya transportasi optimum yang diperoleh adalah 67,0093.

5.2. Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan yang telah disajikan dalam skripsi ini, penulis ingin menyampaikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dibatasi pada konsep dasar masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS). Diharapkan ada penelitian lebih lanjut pada analisis sensitivitas pada masalah transportasi *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS).
2. Penelitian ini hanya dibatasi pada algoritma Karnik Mendel untuk mengubah

biaya transportasi, jumlah *supply* dan jumlah *demand* dari bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval ke dalam bentuk bilangan tegas. Diharapkan ada penelitian untuk membahas konversi bentuk himpunan *fuzzy* tipe-2 interval seperti Algoritma *Enhanced Karnik Mendel* (EKM), *Iterative With Stop Condition* (IASC) dan *Enhanced Iterative With Stop Condition* (EIASC).

3. Penelitian ini hanya menggunakan metode MVAM dan IVAM untuk mendapatkan solusi layak awal dan metode MMODI untuk uji optimasi pada masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval. Diharapkan ada penelitian menggunakan metode-metode lain dalam menyelesaikan masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS). Seperti *Max Min Vogel's Approximation Method* (MMVAM) untuk solusi layak awal. Selanjutnya untuk uji optimasi menggunakan metode *Modified Allocation Method* (MODA).
4. Penelitian ini hanya menggunakan studi kasus contoh numerik dari masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval. Diharapkan ada penelitian menggunakan studi kasus dalam kehidupan nyata dari masalah transportasi himpunan *fuzzy* tipe-2 interval (IT2FS).

DAFTAR PUSTAKA

- Aminudin. (2005). *Prinsip-Prinsip Riset Operasi*. Jakarta: Erlangga.
- Babu, M.A., Hoque, M.A. and Uddin, M.S. (2020) *A heuristic for obtaining better initial feasible solution to the transportation problem*. OPSEARCH 57, 221–245.
- Cheng, C. H. (1998). *A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method*, Fuzzy Sets and System, vol. 95.
- Chen, S. M., Chen, J. H. (2009). *Fuzzy risk analysis based on ranking generalized fuzzy numbers with different heights and different spreads*. Expert Systems with Applications, vol. 36.
- Dey, A., Son, L. H., Pal, A., and Long, H. V. (2020). *Fuzzy minimum spanning tree with interval type 2 fuzzy arc length: formulation and a new genetic algorithm*. Soft computing, 24, 3963-3974.
- Dimiyati, T. D. (2004). *Operation Research Modl-Model Pengambilan Keputusan*. Bandung: Sinar Baru.
- Garg HN (2018) *Some hybrid wighted aggregation operators under neutrosophic set environment and their applications to multicriteria decision-making*. Appl Intell 48(12):4871-4888.
- Hillier, F.S. and Lieberman, G.J. (2010) *Introduction to Operations Research. 9th Edition*, McGraw-Hill, New York.
- Karnik, N. N., and Mendel, J. M. (2001). *Centroid of a type-2 fuzzy set*. information Sciences, 132(1-4), 195-220.
- Kar MB, Kundu P, Kar S, Pal T (2018) *A multi-objective multiitem solid transportation problem with vehicle cost, volume and weight capacity under fuzzy environment*. J Intell Fuzzy Syst 35(2):1991-1999.
- Korukoğlu S, Ballı S. (2011) *An Improved Vogel's Approximation Method for the Transportation Problem*. Mathematical and Computational Applications. 16(2):370-381. <https://doi.org/10.3390/mca16020370>
- Klir, G., and Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic* (Vol. 4, pp. 1-12). New Jersey: Prentice hall.
- Li-Wei Lee and Shyi-Ming Chen, *A new method for fuzzy multiple attributes group decision-making based on the arithmetic operations of interval type-2 fuzzy sets*, 2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kunming, China, 2008, pp. 3084-3089, doi: 10.1109/ICMLC.2008.4620938.

- Maity G, Mardanya D, Roy SK, Weber GW (2019) *A new approach for solving dual-hesitant fuzzy transportation problem with restrictions*. *Sadhana* 44(4):75.
- Mendel, J. M., John, R. I., Liu, F. (2006). *Interval type-2 fuzzy logic systems made simple*. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 14(6), 808-821.
- Mendel JM, Liu F (2007) *Super-exponential convergence of the karnik-mendel algorithms for computing the centroid of an interval type-2 fuzzy set*. *Fuzzy Syst IEEE Trans* 15(2):309-320.
- Mohanaselvi, S., dan Ganesan, K. (2012). *Fuzzy optimal solution to fuzzy transportation problem: A new approach*. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3(1), 367-375.
- Mulyono, S. (2004). *Riset operasi (Edisi revisi)*. Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Mussafi, N. S. (2012). *Handout Riset Operasi*. Yogyakarta: Prodi Matematika UIN Sunan Kalijaga.
- Nafiah, I. (2018). *Perbandingan Row Minimum Cost Method, Incessant Allocation Method dan Russells Approximation Method dalam Menyelesaikan Masalah Transportasi*. Yogyakarta: Program Studi Matematika UIN Sunan Kalijaga.
- Pandian, P., dan Natarajan, G. (2010). *A new algorithm for finding a fuzzy optimal solution for fuzzy transportation problems*. *Applied Mathematical Sciences*, 4(2), 79-90.
- Pratihari, J., Kumar, R., Edalatpanah, S.A. et al. 2021. *Vogel's approximation method for transportation problem under uncertain environment*. *ComplexIntell. Syst* 7, 29-40.<https://doi.org/10.1007/s40747-020-00153-4>
- Sholeha, R. (2020). *Penyelesaian Masalah Transportasi untuk Mencari Solusi Optimal dengan Menggunakan Metode ASM dan Metode Improved Exponential Approach*. Bandung: Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati.
- Siang, J. J. (2011). *Riset Operasi dalam Pendekatan Algoritmis*. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET.
- Siswanto. (2006). *Operation Research Jilid 1*. Bogor: Erlangga.
- Stapleton, D., Hanna, J. B., dan Markussen, D. (2003) *Marketing strategy optimization: Using Linear Programming to Establish an Optimal Marketing Mixture*. *American Business Review*, 21(2), 54-62.
- Supranto, J. (2013). *Riset Operasi untuk Pengambilan Keputusan (ke-3 ed.)*. Jakarta: Rajawali Pers.

- Taha, H. A. (1996). *Riset Operasi Suatu Pengantar Jilid 1*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Winston, W. L. (2022). *Operation Research: Applications and Algorithms*. Cengage Learning.
- Wu, D., and Mendel, J. M. (2008). *A comparative study of ranking methods, similarity measures and uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets*. Information Sciences, 179(8), 1169-1192.
- Wu, D., and Mendel, J. M. (2008). *Enhanced karnik–mendel algorithms*. IEEE transactions on fuzzy systems, 17(4), 923-934.
- Zadeh LA (1975) *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning*. Inf Sci 8(3):199-249.
- Zimmermann, H. J. (2011). *Fuzzy set theory—and its applications*. Springer Science and Business Media.
- Zimmermann HJ (1978) *Fuzzy programming and linear programming with several objective functions*. Fuzzy Sets Syst 1(1):45-55.

