

ANALISIS PERBANDINGAN METODE *FUZZY* SIMPLEKS DAN *KUMAR* DALAM OPTIMASI PRODUKSI *FULLY FUZZY LINEAR PROGRAMMING*

Nerli Khairani¹, Rizal Muhaimin^{2§}, Nafasa Zahri³, Naysla Aura Siffa⁴

¹Program Studi Matematika, Fakultas MIPA-Universitas Negeri Medan [Email: nerlinst@yahoo.co.id]

²Program Studi Matematika, Fakultas MIPA-Universitas Negeri Medan [Email: muhaiminrizal.id@gmail.com]

³Program Studi Matematika, Fakultas MIPA-Universitas Negeri Medan [Email: nafasazahri208@gmail.com]

⁴Program Studi Matematika, Fakultas MIPA-Universitas Negeri Medan [Email: nayslaaurasiffa@gmail.com]

[§]Corresponding Author

ABSTRACT

This study discusses a comparative analysis between the fuzzy simplex method and Kumar's method in solving production optimization problems based on Fully Fuzzy Linear Programming (FFLP). Production optimization problems in real conditions often involve uncertainty in production costs, resource availability, and market demand fluctuations. Therefore, the FFLP approach is applied because all model parameters, including objective functions, constraints, and decision variables, are represented using trapezoidal fuzzy numbers to better describe uncertainty. This research employed a quantitative comparative approach using simulation data with two decision variables. The optimization model was solved using the fuzzy simplex method and Kumar's method with the Liou–Wang ranking function. The results showed that both methods produced identical optimal solutions, including the same optimal decision variable values, fuzzy profit values, and number of iterations required to reach optimality. However, Kumar's method provided a simpler pivot selection process through the use of ranking functions, while the fuzzy simplex method was more effective in maintaining the integrity of fuzzy data throughout the iteration process. Based on the comparative analysis, both methods were proven effective for solving FFLP problems, although they differ in computational complexity and operational procedures.

Keywords: *Fully Fuzzy Linear Programming, Fuzzy simplex, Kumar method, Trapezoidal fuzzy numbers, Production optimization.*

1. PENDAHULUAN

Di lingkungan industri dan manufaktur, merumuskan keputusan produksi yang optimal bukanlah hal yang mudah bagi pihak manajemen. Dinamika pasar seperti fluktuasi permintaan, perubahan biaya produksi, serta keterbatasan ketersediaan sumber daya dan waktu memicu tingginya ketidakpastian. Akibatnya, penggunaan model optimasi konvensional yang bersifat deterministik menjadi kurang relevan untuk diterapkan pada situasi nyata (Qasim et al., 2024). Oleh karena itu, logika *fuzzy* hadir sebagai teknik yang tangguh untuk mengakomodasi ketidaktepatan parameter serta batasan masalah yang kabur dalam perencanaan produksi.

Meskipun *Linear Programming* (LP) sangat diandalkan dalam optimasi produksi, metode

klasik ini mensyaratkan parameter yang mutlak pasti, yang mana sering kali tidak realistis. Untuk mengatasi batasan ini, konsep optimasi dalam lingkungan *fuzzy* diperkenalkan dan melahirkan *Fuzzy Linear Programming* (FLP). Seiring berjalannya waktu, penelitian terkait FLP berkembang pesat mencakup kondisi optimalitas, dualitas, hingga metode leksikografis (Figueroa-García et al., 2022). Evolusi pemodelan ini mencapai tingkat selanjutnya ketika seluruh elemen LP, mulai dari koefisien fungsi tujuan, fungsi kendala, nilai ruas kanan, hingga variabel keputusannya, dimodelkan sepenuhnya sebagai bilangan *fuzzy*. Pendekatan menyeluruh ini dikenal secara luas sebagai *Fully Fuzzy Linear Programming* (FFLP) (Das, 2024).

Berbagai pendekatan telah diusulkan untuk memecahkan masalah FFLP. Beberapa studi menyoroti bahwa operasi aritmetika pada bilangan *fuzzy* trapesium konvensional kerap gagal memenuhi sifat-sifat dasar matematis, sehingga memicu perlunya perbaikan pada metode Simpleks yang ada. Hal ini mendorong lahirnya Metode *Fuzzy Simpleks*, yang bekerja dengan cara melakukan iterasi komputasi secara langsung pada representasi *fuzzy* (Akram et al., 2022). Sebagai alternatif, Kumar et al. (Kumar et al., 2011) merumuskan Metode *Kumar*, yaitu teknik penyelesaian FFLP yang memanfaatkan operasi aritmetika dan fungsi *ranking* linier. Pada metode ini, fungsi tujuan yang bersifat *fuzzy* dikonversi atau disederhanakan melalui pendekatan nilai spesifik (Ghoushchi et al., 2021). Namun, perdebatan akademis pun muncul; sejumlah literatur dengan pendekatan parametrik terbaru berargumen bahwa mempertahankan bentuk *fuzzy* selama proses komputasi, tanpa melakukan proses *defuzzifikasi* atau aproksimasi *crisp*, justru mampu merepresentasikan ketidakpastian data masukan secara lebih realistis (Bhowmick et al., 2024).

Meskipun sama-sama diimplementasikan untuk menyelesaikan FFLP, kedua metode tersebut memiliki karakteristik yang berbeda jauh terkait prosedur komputasi, tingkat kompleksitas, dan kualitas solusi (Behera et al., 2020). Karena ketidakmampuan model LP konvensional dalam merespon masalah kekaburan empiris, studi komparatif mutlak dibutuhkan untuk mencari metode penyelesaian yang paling tangguh (Ghanbari et al., 2019). Oleh karena kajian komparatif yang menghadapi Metode *Fuzzy Simpleks* dan Metode *Kumar* dalam konteks optimasi produksi masih langka, penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan literatur tersebut. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan performa kedua metode dalam memecahkan masalah optimasi produksi FFLP guna memberikan wawasan utuh terkait kelebihan dan kekurangan operasional masing-masing.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang bersifat studi komparatif-analitik. Secara spesifik, penelitian ini membandingkan kinerja dua metode

penyelesaian *Fully Fuzzy Linear Programming* (FFLP), yaitu Metode *Fuzzy Simpleks* dan Metode *Kumar*, dalam konteks permasalahan optimasi produksi. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan analitik-numerik, di mana kedua metode diterapkan secara sistematis dan bertahap pada model simulasi yang identik, kemudian hasilnya dibandingkan berdasarkan indikator evaluasi yang telah ditetapkan.

Pemilihan jenis penelitian komparatif didasarkan pada kebutuhan untuk memberikan gambaran yang objektif mengenai karakteristik, kelebihan, dan kekurangan masing-masing metode dalam menangani ketidakpastian parameter secara menyeluruh. Kajian komparatif semacam ini diperlukan untuk mengidentifikasi metode penyelesaian yang paling tangguh dalam menghadapi masalah FFLP nyata, sebagaimana ditunjukkan dalam berbagai studi terkini.

2.2 Fully Fuzzy Linear Programming (FFLP)

Fully Fuzzy Linear Programming (FFLP) merupakan perluasan menyeluruh dari *Linear Programming* (LP) konvensional, di mana seluruh elemen model koefisien fungsi tujuan, koefisien matriks kendala, nilai ruas kanan, hingga variabel keputusan direpresentasikan sepenuhnya sebagai bilangan *fuzzy* (Akram et al., 2022). Pendekatan ini berbeda secara fundamental dari *Fuzzy Linear Programming* (FLP) biasa yang hanya mengakomodasi ketidakpastian pada sebagian parameternya saja.

Ghoushchi et al. (2021) menegaskan bahwa FFLP mampu merepresentasikan ketidakpastian secara lebih akurat dan realistis, karena seluruh informasi yang terlibat dalam proses optimasi diperlakukan sebagai entitas *fuzzy* tanpa memerlukan konversi *crisp* yang prematur pada tahap manapun. Hal ini menjadikan FFLP sangat relevan untuk diterapkan pada skenario dunia nyata yang sarat ketidakpastian, seperti perencanaan produksi, manajemen rantai pasok, dan alokasi sumber daya yang bersifat dinamis.

Menurut Stanojević & Nadaban (2023), model FFLP memberikan representasi yang lebih realistis dibandingkan linear programming klasik karena mampu mempertahankan informasi ketidakpastian selama proses optimasi berlangsung. Pada model linear klasik, seluruh parameter dianggap pasti (*crisp*), sedangkan pada kondisi nyata banyak parameter bersifat

samar atau tidak pasti.

FFLP banyak digunakan pada permasalahan optimasi multiobjektif, produksi industri, pengalokasian sumber daya, hingga pengambilan keputusan strategis karena mampu mengakomodasi fleksibilitas data (Temelcan et al., 2021).

Model umum FFLP dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Maksimalkan } \tilde{z} = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j \tilde{x}_j \quad (1)$$

dengan kendala:

$$\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \tilde{x}_j \leq \tilde{b}_i \quad (2)$$

dan:

$$\tilde{x}_j \geq 0$$

di mana:

$\tilde{c}_j$: Merupakan koefisien *fuzzy* fungsi tujuan,

$\tilde{a}_{ij}$: Adalah koefisien *fuzzy* kendala,

$\tilde{b}_i$: Adalah ruas kanan *fuzzy*, dan

$\tilde{x}_j$: Merupakan variabel keputusan *fuzzy*.

(Akram et al., 2022; Das, 2024).

Bhowmick et al. (2024) menjelaskan bahwa pendekatan parametrik pada FFLP mampu meningkatkan fleksibilitas solusi serta menjaga struktur *fuzzy* tanpa kehilangan informasi ketidakpastian selama proses iterasi.

Selain itu, Arana-Jiménez (2022) menyatakan bahwa model FFLP modern tidak lagi hanya fokus pada proses defuzzifikasi, tetapi mulai mempertahankan struktur *fuzzy* penuh untuk memperoleh solusi Pareto *fuzzy* yang lebih representatif.

2.3 Bilangan Fuzzy

Bilangan *fuzzy* trapesium (*Trapezoidal Fuzzy Number/TFN*) merupakan salah satu bentuk representasi *fuzzy* yang paling umum digunakan dalam optimasi *fuzzy* karena mudah dioperasikan secara matematis dan mampu menggambarkan ketidakpastian data secara lebih fleksibel dibandingkan bilangan crisp (Ghoushchi et al., 2021).

Keunggulannya dibandingkan bilangan *fuzzy* segitiga terletak pada kemampuannya mengakomodasi rentang nilai yang tidak presisi secara lebih fleksibel, sekaligus memiliki sifat aritmetika yang lebih mudah dioperasikan secara aljabar (Bhowmick et al., 2024).

Bilangan *fuzzy* trapesium $\tilde{A} = (a, b, c, d)$ dengan $a \leq b \leq c \leq d$ didefinisikan oleh fungsi keanggotaan:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (3)$$

Nilai a dan d menunjukkan batas bawah dan batas atas *fuzzy*, sedangkan b dan c merupakan daerah dengan derajat keanggotaan maksimum (Bhowmick et al., 2024).

Bilangan *fuzzy* trapesium digunakan karena memiliki operasi aritmetika yang sederhana. Penjumlahan dua bilangan *fuzzy* trapesium dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (a_1, b_1, c_1, d_1) + (a_2, b_2, c_2, d_2) \\ = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \end{aligned}$$

Sementara operasi perkalian positif dapat dituliskan:

$$\begin{aligned} (a_1, b_1, c_1, d_1) \times (a_2, b_2, c_2, d_2) \\ = (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2, d_1 d_2) \end{aligned}$$

Menurut Hasan dan Al Kanani (2024), penggunaan bilangan *fuzzy* trapesium sangat efektif dalam metode *fuzzy* simpleks karena proses operasi pivot dapat dilakukan langsung tanpa mengubah data menjadi bentuk tegas (*crisp*).

Sivakumar dan Appasamy (2022) juga menyebutkan bahwa representasi trapesium memberikan stabilitas numerik yang baik pada model optimasi *fuzzy* multiobjektif. Selain itu, bentuk trapesium mampu menggambarkan interval toleransi parameter secara lebih realistis dalam sistem produksi dan rekayasa industri.

2.4 Metode Fuzzy Simpleks

Metode *fuzzy* simpleks merupakan pengembangan metode simpleks klasik untuk menyelesaikan masalah FFLP dengan mempertahankan seluruh parameter dalam bentuk *fuzzy* selama proses iterasi berlangsung. Metode ini bekerja dengan konsep tabel simpleks *fuzzy* yang seluruh elemennya berupa bilangan *fuzzy* (Hasan & Al Kanani, 2024).

Behera et al. (2020) menegaskan bahwa keunggulan utama Metode *Fuzzy Simpleks* adalah kemampuannya menghasilkan solusi yang tetap memuat informasi *fuzzy* penuh,

sehingga pengambil keputusan memiliki gambaran rentang nilai yang lebih kaya dan realistis. Metode ini telah terbukti efektif dalam berbagai kasus optimasi yang melibatkan parameter kabur, termasuk dalam formulasi parametrik terbaru.

Tahapan umum metode *fuzzy simpleks* meliputi:

1. Mengubah model FFLP ke tabel simpleks *fuzzy*.
2. Menentukan variabel masuk berdasarkan nilai fungsi tujuan *fuzzy*.
3. Menentukan variabel keluar dengan rasio minimum *fuzzy*.
4. Melakukan operasi pivot *fuzzy*.
5. Mengulangi iterasi hingga kondisi optimal tercapai.

Menurut Kareem dan Mitlif (2022), metode *fuzzy simpleks* mampu menghasilkan solusi optimal *fuzzy* yang konsisten serta mempertahankan struktur ketidakpastian data selama proses komputasi.

Selain itu, penelitian oleh Hasan dan Al Kanani (2024) menunjukkan bahwa metode *fuzzy simpleks* memiliki kemampuan yang baik dalam menangani permasalahan *fully fuzzy fractional linear programming* karena seluruh iterasi tetap mempertahankan bilangan *fuzzy*.

Fathy et al. (2023) juga menyatakan bahwa pengembangan metode optimasi *fuzzy* modern berfokus pada pengurangan kompleksitas iterasi serta peningkatan stabilitas solusi pada permasalahan optimasi multilevel *fuzzy*.

2.5 Metode *Kumar* dan Fungsi Peringkat Lio-Wang

Metode *Kumar* merupakan teknik penyelesaian FFLP yang mengintegrasikan fungsi peringkat (*ranking function*) Liou-Wang sebagai alat konversi bilangan *fuzzy* menjadi nilai skalar, guna memfasilitasi pengambilan keputusan *pivot* yang lebih objektif dan sistematis (Bhowmick et al., 2024; Liou & Wang, 1992). Berbeda dari Metode *Fuzzy Simpleks* yang membandingkan bilangan *fuzzy* secara langsung, Metode *Kumar* menggunakan nilai peringkat sebagai kriteria seleksi variabel masuk, meskipun operasi transformasi baris pada setiap iterasi tetap mempertahankan aritmetika *fuzzy* penuh sehingga solusi akhir tetap berupa bilangan *fuzzy* (Ghanbari et al., 2019).

Fungsi peringkat Liou-Wang memetakan bilangan *fuzzy* ke dalam bilangan real dengan mempertimbangkan baik nilai tengah (*central*

value) maupun tingkat penyebaran ketidakpastiannya. Parameter optimisme $\alpha \in [0,1]$ menjadikan fungsi ini adaptif terhadap preferensi pengambil keputusan (Behera et al., 2020).

Untuk bilangan *fuzzy* trapesium:

$$\tilde{A} = (a, b, c, d)$$

fungsi peringkat Liou-Wang diberikan oleh:

$$R(\tilde{A}) = \frac{a + 2b + 2c + d}{6} \quad (4)$$

Fungsi tersebut digunakan untuk menentukan urutan prioritas bilangan *fuzzy* berdasarkan nilai integralnya.

Menurut Hasan dan Al Kanani (2024), penggunaan fungsi ranking pada metode *Kumar* mampu mempercepat proses pemilihan variabel basis tanpa menghilangkan struktur *fuzzy* utama model.

Malik et al. (2022) menyatakan bahwa pendekatan ranking *fuzzy* sangat efektif digunakan pada optimasi *fuzzy* modern karena dapat mengurangi kompleksitas perbandingan *fuzzy* multivariat.

Selain itu, Arana-Jiménez (2022) menjelaskan bahwa pendekatan tanpa *ranking function* memang dapat dilakukan, namun penggunaan fungsi ranking seperti Liou-Wang masih menjadi metode yang paling praktis dan banyak digunakan dalam optimasi *fuzzy* terapan.

Temelcan et al. (2021) juga menegaskan bahwa kombinasi fungsi ranking dan metode *fuzzy* linear programming mampu meningkatkan efisiensi pengambilan keputusan pada sistem multiobjektif *fuzzy*.

2.6 Data dan Model Simulasi

Penelitian ini menggunakan data simulasi yang merepresentasikan masalah optimasi produksi pada unit manufaktur hipotetis dengan dua jenis produk: Produk A ($\tilde{x}_1$) dan Produk B ($\tilde{x}_2$). Seluruh parameter dimodelkan sebagai bilangan *fuzzy* trapesium untuk mencerminkan kondisi ketidakpastian produksi secara realistis, mencakup fluktuasi keuntungan per unit, variabilitas jam kerja, dan ketidakpastian kapasitas mesin.

Fungsi Tujuan FFLP — Simulasi Produksi
 $Maks Z = (3,5,7) \otimes \tilde{x}_1 \oplus (2,4,6) \otimes \tilde{x}_2$

Koefisien (3,5,7) dan (2,4,6) merupakan bilangan *fuzzy* trapesium yang merepresentasikan keuntungan per unit Produk A dan Produk B (satuan: ratusan ribu rupiah/unit).

Kendala Produksi:

Tabel 1. Formulasi Kendala FFLP pada Model Simulasi Produksi

No.	Jenis Kendala	Formulasi <i>Fuzzy</i>	Satuan
1.	Bahan Baku	$(1,2,3) \otimes \tilde{x}_1 \oplus (1,1,1) \otimes \tilde{x}_2 \lesssim (10,12,14)$	kg/hari
2.	Jam Kerja	$(1,1,1) \otimes \tilde{x}_1 \oplus (2,3,4) \otimes \tilde{x}_2 \lesssim (8,10,12)$	jam/hari
3.	Kapasitas Mesin	$(1,2,3) \otimes \tilde{x}_1 \oplus (1,2,3) \otimes \tilde{x}_2 \lesssim (6,8,10)$	jam/hari
4.	Non-negativitas	$\tilde{x}_1 \gtrsim \tilde{0}, \tilde{x}_2 \gtrsim \tilde{0}$	—

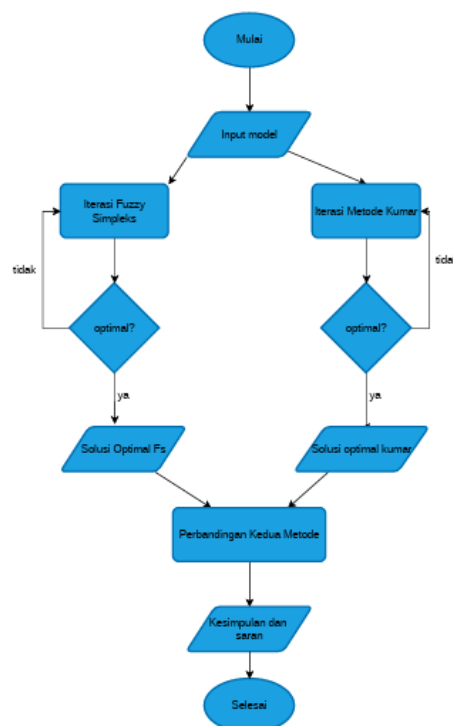
Data simulasi ini dikonstruksi mengacu pada struktur masalah FFLP yang lazim digunakan dalam studi komparatif, sebagaimana diterapkan oleh Behera et al. (2020) dan Bhowmick et al. (2024), dengan bilangan *fuzzy* trapesium yang merepresentasikan kisaran nilai realistik pada kapasitas produksi skala menengah.

2.7 Prosedur Penelitian

Penelitian ini mengidentifikasi variabel independen, dependen, dan variabel kontrol. Variabel independen dalam penelitian ini adalah struktur masalah FFLP yang terdiri dari fungsi tujuan *fuzzy*, kendala *fuzzy*, dan variabel keputusan *fuzzy*, serta representasi parameter sebagai bilangan *fuzzy* trapesium. Variabel dependen meliputi solusi optimal untuk variabel keputusan (x_1, x_2) yang berupa bilangan *fuzzy*, nilai fungsi tujuan optimal (Z), jumlah iterasi yang diperlukan untuk mencapai konvergensi, dan kompleksitas komputasi yang dibutuhkan. Adapun variabel kontrol yang dijaga tetap konstan adalah tipe bilangan *fuzzy* yang digunakan (trapesium), struktur masalah optimasi yang identik untuk kedua metode, dan jenis tujuan optimasi (maksimasi).

2.7.1 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui pendekatan deskriptif-komparatif dengan tahapan yang dapat divisualisasikan dalam flowchart berikut:



Gambar 1. Flowchart

Proses analisis dimulai dengan formulasi masalah FFLP simulasi yang akan diterapkan pada kedua metode. Setelah itu, kedua metode diimplementasikan secara paralel pada masalah yang sama untuk menghasilkan solusi optimal dan data komputasi. Data yang dihasilkan dari kedua metode kemudian dibandingkan secara sistematis untuk mengidentifikasi perbedaan dalam hal kecepatan konvergensi, kompleksitas operasi, kualitas solusi, dan kemampuan preservasi informasi *fuzzy*. Hasil analisis komparatif ini kemudian disintesis untuk merumuskan kesimpulan tentang kelebihan, kekurangan, dan karakteristik operasional masing-masing metode.

2.8 Indikator Analisis Komparatif

Perbandingan antara Metode *Fuzzy Simpleks* dan Metode *Kumar* dilakukan berdasarkan empat indikator utama yang mencakup aspek kuantitatif maupun kualitatif.

Tabel 2. Indikator perbandingan Metode *Fuzzy Simpleks* dan Metode *Kumar*

Indikator	Deskripsi	Metrik Evaluasi
Kualitas Solusi	Keakuratan dan keidentikan nilai optimal yang dihasilkan kedua metode	Nilai $\tilde{Z}$, $\tilde{x}_1$, dan $\tilde{x}_2$ optimal
Efisiensi Komputasi	Jumlah iterasi yang dibutuhkan masing-masing metode hingga mencapai konvergensi	Jumlah iterasi <i>pivot</i>
Kompleksitas Operasi	Tingkat kerumitan operasi aritmetika <i>fuzzy</i> yang dilakukan pada setiap tahap iterasi	Jenis dan frekuensi operasi <i>fuzzy</i>
Kemudahan Operasional	Kemudahan dalam penentuan <i>pivot</i> dan interpretasi solusi akhir	Analisis kualitatif prosedural

Keempat indikator ini digunakan secara terpadu untuk memberikan penilaian yang komprehensif dan berimbang terhadap kelebihan serta kekurangan operasional masing-masing metode, sehingga rekomendasi yang dihasilkan dapat dijadikan acuan dalam pemilihan metode penyelesaian FFLP yang paling tepat sesuai konteks permasalahan (Figuerroa-García et al., 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memaparkan hasil optimasi produksi menggunakan metode *fuzzy simpleks* dan metode *kumar*. Masalah optimasi ini melibatkan dua variabel keputusan yaitu produk A (x_1) dan produk B (x_2), dengan fungsi tujuan memaksimalkan keuntungan sebagai berikut.

$\text{Maks } Z = (3,5,7) \otimes \tilde{x}_1 \otimes (2,4,6) \otimes \tilde{x}_2$
Model ini dibatasi oleh tiga kendala utama yang merepresentasikan ketersediaan bahan baku, jam kerja, dan kapasitas mesin dalam bentuk *fully fuzzy*.

3.1 Implementasi Metode *Fuzzy Simpleks*

Pada metode *fuzzy simpleks*, penentuan variabel masuk dilakukan dengan membandingkan nilai *fuzzy* pada baris fungsi tujuan secara langsung.

Tabel 3. Ringkasan Perjalanan Iterasi Metode *Fuzzy Simpleks*

Iterasi	Variabel masuk	Variabel keluar	Nilai keuntungan
0	-	-	(0,0,0)
1	$\tilde{x}_1$	$\tilde{s}_2$	(7.5,20,49)
2(opt)	$\tilde{x}_2$	$\tilde{s}_1$	(6,28,66)

Berdasarkan tabel diatas variabel x_1 dipilih untuk masuk ke basis pada iterasi pertama karena memiliki koefisien keuntungan (3,5,7) yang lebih besar dibandingkan produk lainnya. Pada iterasi berikutnya, variabel x_2 masuk ke basis setelah pengecekan nilai $\tilde{c}_j - \tilde{z}_j$ menunjukkan solusi belum optimal. Kondisi optimal akhirnya tercapai pada iterasi kedua ketika seluruh koefisien fungsi tujuan bernilai non-positif.

3.2 Implementasi Metode *Kumar*

Metode *kumar* menggunakan fungsi peringkat (*rangking function*) Liou-Wang untuk mengubah perbandingan *fuzzy* menjadi skalar guna menentukan variabel basis secara lebih objektif.

Tabel 4. Ringkasan Perjalanan Iterasi Metode *Kumar*

Iterasi	Variabel masuk	Variabel keluar	Nilai keuntungan
0	-	-	0
1	x_1	s_2	19,13
2(opt)	x_2	s_1	28,50

Meskipun mekanisme penentuan pivot menggunakan skalar peringkat, transformasi abris pada setiap tahap tetap mempertahankan operasi aritmetika *fuzzy* sepenuhnya. Hal ini memastikan hasil akhir yang diperoleh tetap dalam bentuk informasi *fuzzy* yang kaya akan nilai ketidakpastian.

3.3 Perbandingan Kedua Metode

Setelah kedua metode mencapai konvergensi pada iterasi kedua, dilakukan perbandingan terhadap hasil sebagaimana tertera pada tabel berikut.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Optimal Kedua Metode

Indikator	Fuzzy Simpleks	Metode kumar
Solusi optimal (x_1)	(2,4,6)	(2,4,6)
Solusi Optimal (x_2)	(0,2,4)	(0,2,4)
Keuntungan Z	(6,28,66)	(6,28,66)
Jumlah iterasi	2	2

Hasil pada tabel diatas menunjukkan bahwa kedua metode memberikan solusi yang identik dan tingkat efisiensinya yang setara. Perbedaan utama terletak pada kemudahan operasional, metode kumar terbukti mempermudah pengambilan keputusan pivot melalui penggunaan nilai peringkat (*ranking function*), sementara fuzzy simpleks sangat baik dalam menjaga integritas data fuzzy asli tanpa konversi di setiap tahapannya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, kedua metode yaitu Metode Fuzzy Simpleks dan Metode Kumar berhasil memberikan solusi optimal yang identik pada permasalahan Fully Fuzzy Linear Programming (FFLP). Solusi optimal yang diperoleh adalah $x_1 = (2,4,6)$ dan $x_2 = (0,2,4)$ dengan nilai keuntungan $Z = (6,28,66)$ yang dicapai pada iterasi kedua. Meskipun menghasilkan solusi yang sama, kedua metode memiliki keunggulan operasional yang berbeda. Metode Kumar terbukti lebih mudah dalam pengambilan keputusan pivot melalui penggunaan nilai peringkat (*ranking function*), sementara Metode Fuzzy Simpleks lebih unggul dalam menjaga integritas data fuzzy asli tanpa melakukan konversi di setiap tahapannya.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar pengujian dilakukan dengan memperbesar skala masalah melalui penambahan variabel keputusan dan kendala yang lebih banyak, guna mengevaluasi keefektifan serta efisiensi Metode Fuzzy Simpleks dan Metode Kumar ketika diterapkan pada dimensi permasalahan yang lebih kompleks. Selain itu, perlu dikaji pula penggunaan fungsi ranking yang berbeda selain Liou-Wang pada Metode Kumar untuk mengetahui sejauh mana pengaruh pemilihan fungsi ranking terhadap konsistensi dan keakuratan solusi yang dihasilkan. Penelitian berikutnya juga dapat memperluas jenis kendala yang digunakan dengan menganalisis masalah FFLP yang melibatkan kendala campuran ($=, \geq, \leq$) sehingga cakupan analisis perbandingan kedua metode menjadi lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Akram, M., Ullah, I., & Allahviranloo, T. (2022). A New Method for the Solution of Fully Fuzzy Linear Programming Models. *Computational and Applied Mathematics*, 41. <https://doi.org/10.1007/s40314-021-01756-4>
- Arana-Jiménez, M. (2022). On Generating Fuzzy Pareto Solutions in Fully Fuzzy Multiobjective Linear Programming via a Compromise Method. *RAIRO-Operations Research*, 56(6), 4035–4045. <https://doi.org/10.1051/ro/2022196>
- Behera, D., Peters, K., Edalatpanah, S. A., & Qiu, D. (2020). New methods for solving imprecisely defined linear programming problem under trapezoidal fuzzy uncertainty. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 25(24). <https://doi.org/10.1080/02522667.2020.1758369>
- Bhowmick, A., Chakraverty, S., & Chatterjee, S. (2024). Parametric Optimization for Fully Fuzzy Linear Programming Problems with Triangular Fuzzy Numbers. *Mathematics*, 12(3051), 1–18.
- Das, K. (2024). On Fully Fuzzy Linear Programming Problems. *International Journal of Science and Social Science Research [IJSSSR]*, 2(3), 72–76.
- Fathy, E., Ammar, E., & Helmy, M. A. (2023). Three Different Optimization Techniques for Solving the Fully Rough Interval Multi-Level Linear Programming Problem. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 45(2). <https://doi.org/10.3233/JIFS-230057>
- Figueroa-García, J. C., Hernández, G., & Franco, C. (2022). A review on history, trends and perspectives of fuzzy linear programming. *Operations Research Perspectives*, 9, 100247.
- Ghanbari, R., Nezam, K. G., Mahdavi-Amiri, N., & Baets, B. De. (2019). Fuzzy linear programming problems: models and solutions. *Soft Computing*, 2(2012). <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04519-w>
- Ghoushchi, S. J., Osgoeei, E., Haseli, G., & Tomaskova, H. (2021). A Novel Approach to Solve Fully Fuzzy Linear Programming

- Problems with Modified Triangular Fuzzy Numbers. *Mathematics*, 9(2937), 1–13.
- Hasan, I. H., & Al Kanani, I. H. (2024). Employing Novel Ranking Function for Solving Fully Fuzzy Fractional Linear Programming Problems. *Baghdad Science Journal*, 21(7), 2395. <https://doi.org/10.21123/bsj.2023.8243>
- Kareem, M. A., & Mitlif, R. J. (2022). A New Method for Solving Fully Fuzzy Multi-Objective Linear Programming Problems. *Iraqi Journal of Science*. <https://ijs.uobaghdad.edu.iq/index.php/eijs/article/view/6467>
- Kumar, A., Kaur, J., & Singh, P. (2011). A new method for solving fully fuzzy linear programming problems. *Applied Mathematical Modelling*, 35(2), 817–823. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.07.037>
- Liou, T.-S., & Wang, M.-J. J. (1992). Ranking fuzzy numbers with integral value. *Fuzzy Sets and Systems*, 50(3), 247–255. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0165-0114\(92\)90223-Q](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0165-0114(92)90223-Q)
- Malik, M., Gupta, S. K., & Ahmad, I. (2022). Developing Solution Algorithm for LR-Type Fully Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Linear Programming Problems Using Lexicographic-Ranking Method. *ArXiv*. <https://arxiv.org/abs/2203.01048>
- Qasim, M., Wong, K. Y., & Komarudin. (2024). A Review on Aggregate Production Planning under Uncertainty: Insights from a Fuzzy Programming Perspective. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 128, 107436. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107436>
- Sivakumar, K., & Appasamy, S. (2022). Fuzzy Harmonic Mean Technique for Solving Fully Fuzzy Multilevel Multiobjective Linear Programming Problems. *Alexandria Engineering Journal*, 61(10), 8189–8205. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.01.021>
- Stanojević, B., & Nadaban, S. (2023). Empiric Solutions to Full Fuzzy Linear Programming Problems Using the Generalized “min” Operator. *Mathematics*, 11(23), 4864. <https://doi.org/10.3390/math11234864>
- Temelcan, G., Kocken, H. G., & Albayrak, I. (2021). Finding Compromise Solutions for Fully Fuzzy Multi-Objective Linear Programming Problems by Using Game Theory Approach. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(1). <https://doi.org/10.3233/JIFS-219192>