

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

Nerli Khairani¹, Rizal Muhaimin², Nafasa Zahri³, Naysla Aura Siffa⁴

^{1,2,3,4}Matematika FMIPA Universitas Negeri Medan

¹nerlinst@yahoo.co.id, ²muhaiminrizal.id@gmail.com,

³nafasazahri208@gmail.com, ⁴nayslaaurasiffa@gmail.com

ABSTRACT

This study presents a comparative analysis of the fuzzy simplex method and Kumar's method in solving production optimization problems based on Fully Fuzzy Linear Programming (FFLP). Since production systems often involve uncertainty in costs, resource availability, and market demand, all model parameters are represented using Trapezoidal Fuzzy Numbers. A quantitative comparative approach was employed using simulation data with two decision variables. The optimization model was solved using both methods, with Kumar's method utilizing the Liou–Wang ranking function. The results show that the two methods produce the same optimal decision variable values, fuzzy profit values, and number of iterations required to achieve optimality. However, Kumar's method offers a simpler computational procedure through ranking-based pivot selection, while the fuzzy simplex method better preserves fuzzy information during the iterative process. These findings indicate that both methods are effective for solving FFLP-based production optimization problems, with differences primarily in their computational mechanisms and operational complexity.

Keywords: Fully Fuzzy Linear Programming, Fuzzy simplex, Kumar method, Trapezoidal Fuzzy Numbers, Production optimization.

ABSTRAK

Studi ini menyajikan analisis komparatif metode simpleks fuzzy dan metode Kumar dalam menyelesaikan masalah optimasi produksi berdasarkan Pemrograman Linier Fuzzy Penuh (FFLP). Karena sistem produksi seringkali melibatkan ketidakpastian dalam biaya, ketersediaan sumber daya, dan permintaan pasar, semua parameter model direpresentasikan menggunakan bilangan fuzzy trapesium. Pendekatan komparatif kuantitatif digunakan dengan menggunakan data simulasi dengan dua variabel keputusan. Model optimasi diselesaikan menggunakan kedua metode, dengan metode Kumar memanfaatkan fungsi peringkat Liou–Wang. Hasil menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan nilai variabel keputusan optimal, nilai keuntungan fuzzy, dan jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk mencapai optimalitas yang sama. Namun, metode Kumar menawarkan prosedur komputasi yang lebih sederhana melalui pemilihan *pivot* berbasis peringkat, sedangkan metode simpleks fuzzy lebih baik mempertahankan informasi fuzzy selama proses iteratif. Temuan ini menunjukkan bahwa kedua metode efektif untuk menyelesaikan masalah optimasi produksi berbasis FFLP, dengan perbedaan terutama pada mekanisme komputasi dan kompleksitas operasionalnya.

Kata Kunci: Pemrograman Linier Fuzzy Penuh, Metode Simpleks Fuzzy, Metode Kumar, Bilangan Fuzzy Trapezoidal, Optimasi Produksi.

A. 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 menghadapkan 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.

B. Metode Penelitian

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. 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

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

Dimana:

$\tilde{c}_j$: 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 representative.

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

$$(a_1, b_1, c_1, d_1) + (a_2, b_2, c_2, d_2)$$

$$= (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2)$$

Sementara operasi perkalian positif dapat dituliskan:

$$(a_1, b_1, c_1, d_1) \times (a_2, b_2, c_2, d_2)$$

$$= (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2, d_1 d_2)$$

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.

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*.

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 *Fuzzy Simpleks* yang dari Metode 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*.

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 Ringkasan Perjalanan Iterasi Metode Fuzzy Simpleks

No	Jenis Kendala	Formula Fuzzy	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 realistis pada kapasitas produksi skala menengah.

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).

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.

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 $\bar{Z}$, $\tilde{x}_1$, 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 fuzzy yang dilakukan pada setiap tahap iterasi	Jenis dan frekuensi operasi fuzzy
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 (Figuerola-García et al., 2022).

C. Hasil Penelitian 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.

$$\text{Maks } Z = (3,5,7) \otimes \tilde{x}_1 \otimes (2,4,6)$$

$$\otimes \tilde{x}_1$$

Model ini dibatasi oleh tiga kendala utama yang merepresentasikan ketersediaan bahan baku, jam kerja, dan kapasitas mesin dalam bentuk *fully fuzzy*.

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 karenamemiliki 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.

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. Perbandingan Kedua Metode

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

Tabel 5 Ringkasan Perjalanan Iterasi Metode Kumar

Indikator	<i>Fuzzy Simpleks</i>	Metode <i>Kumar</i>
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 menunjukkanbahwa kedua mtode memberikan solusi yang identik dan tingkat efisiesni yang setara. Perbedaan utama terleta pada keudahan operasional, metode *kumar* pengambilan terbukti keputusan mempermudah *pivot* melalui penggunaan nilai peringkat (*rangking function*), sementara *fuzzy simpleks* sangat baik dalam menjaga integritas data *fuzzy* asli tanpa konversi di setiap tahapannya.

D. Kesimpulan

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>
- Figuroa-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., Osgooei, 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.2023.8>
- 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), 64. <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>