BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 *Supply Chain Management*

Supply Chain Management (SCM) atau manajemen rantai pasok merupakan pola terpadu menyangkut proses aliran produk dari pemasok (*supplier*), manufaktur, *retailer* hingga pada konsumen akhir. Dalam konsep SCM ingin diperlihatkan bahwa rangkaian aktivitas antara *supplier* hingga konsumen akhir adalah dalam satu kesatuan (Sucahyowati et al., 2011). Menurut Adi Djoko Guritno & Harsasi (2019), dalam rangkaian produk, bahan baku diolah di fasilitas pengolahan kemudian dikirim ke gudang barang jadi sebelum akhirnya diserahkan kepada pelanggan atau pengecer. Oleh karena itu, guna mengurangi biaya dan meningkatkan pelayanan, strategi rantai pasok yang efisien harus memperhitungkan interaksi di antara berbagai elemen dalam rantai pasok.

Sasaran manajemen rantai pasok yaitu untuk melakukan efisiensi biaya seoptimal mungkin dari keseluruhan sistem yang meliputi biaya transportasi dan distribusi ke sentral bahan baku, barang setengah jadi dalam proses pengolahan dan barang jadi. Arti penekanan biaya tidak semata-mata pada upaya memperkecil ongkos transportasi atau mengurangi persediaan yang ada saja, melainkan upaya pada pengembangan melalui pendekatan sistem secara keseluruhan untuk menyediakan material sampai produk yang ditunjang dengan teknologi informasi yang memadai dalam keseluruhan rantai pasokan yang ada (Adi Djoko Guritno & Harsasi, 2019).

2.2 Kriteria Evaluasi Supplier

Pemasok (*supplier*) adalah entitas yang menyediakan bahan baku atau komponen yang dibutuhkan dalam proses produksi suatu produk. Menurut Syamil et al., (2019) Pemasok memiliki peran yang sangat penting dalam rantai pasokan sebuah perusahaan, mereka bertanggung jawab atas menyediakan bahan baku atau komponen yang diperlukan untuk proses produksi suatu produk. Dalam proses evaluasi *supplier*, terdapat pertimbangan-pertimbangan tertentu oleh perusahaan guna mengejar efisiensi produksi pada perusahaan. Pertimbangan tersebut

dirumuskan menjadi kriteria relevan yang akan digunakan perusahaan untuk memilih *supplier* yang tepat sesuai dengan tujuan atau *goals* perusahaan. Tahap awal dalam proses pemilihan pemasok adalah pemilihan kriteria. Meskipun dalam banyak penelitian metode untuk memilih kriteria ini jarang menjadi fokus utama, lebih banyak penekanan diberikan pada metode evaluasi *supplier*. Namun, keakuratan dalam menentukan kriteria memiliki dampak besar terhadap kesuksesan dalam memilih *supplier*, karena kriteria yang dipilih akan digunakan untuk menilai dan mengevaluasi semua *supplier* yang tersedia (Ristono A et al., 2019).

Kriteria yang umumnya digunakan dalam literatur adalah kriteria tradisional, yang berkaitan dengan manajemen seperti biaya, kualitas, layanan dan fleksibilitas. Setelah kriteria utama ditetapkan, mereka dapat dipecah menjadi banyak sub-kriteria, termasuk biaya, jaminan kualitas, sistem mutu, lead time, garansi, tingkat pemenuhan pesanan, dukungan teknis, departemen Litbang, teknologi, fleksibilitas dan lainnya (Kannan et al., 2015). Dalam beberapa tahun terakhir, kriteria semacam ini sering digunakan dalam pemilihan pemasok, namun semakin tidak relevan karena adanya globalisasi perdagangan dan kondisi pasar yang kompetitif. Perusahaan mulai mempertimbangkan setiap faktor untuk mengurangi biaya dan meningkatkan profitabilitas mereka (Ristono A et al., 2019). Ali et al., (2010) melakukan penelitian dengan mewawancarai 1.000 pemasok yang dipilih secara acak dari pasar untuk menentukan kriteria penting dalam pemilihan pemasok. Hasil wawancara ini menghasilkan enam belas kriteria seperti harga, kualitas, lead time, kuantitas, dukungan teknis, pangsa pasar, kinerja masa lalu, kinerja pengiriman, kualitas bahan baku, sertifikasi penyimpanan, tingkat cacat, tingkat pembakaran, dan hidrasi. Pemilihan kriteria yang dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan spesifik perusahaan lebih sesuai dengan realitas, mengingat setiap perusahaan memiliki preferensi yang berbeda dalam memilih pemasok (Ristono A et al., 2019). Sebagian besar penelitian yang menggunakan kebutuhan perusahaan sebagai dasar untuk menetapkan kriteria dapat diklasifikasikan sebagai penelitian terapan (Tosun & Akyüz, 2015). Berikut merupakan kriteria dari peneliti terdahulu.

Tabel 2.1 Kriteria dan Sub-Kriteria

Aspect	Kriteria	Author
Price	*Product Price*	(Choy & Lee, 2002), (Zouggari & Benyoucef, 2012), (Abdollahi et al., 2015)
	Cost	(Chan et al., 2008), (Rajesh & Ravi, 2015)
	Logistic Cost	(Abdollahi et al., 2015)
Payment Term	*Payment term*	(Abdollahi et al., 2015)
Quality	*Inspection and Experimentation*	(Choy & Lee, 2002)
	Confirming To Spesification	(Chan et al., 2008)
	Quality	(Zouggari & Benyoucef, 2012), (Rajesh & Ravi, 2015)
	Product Durability	(Abdollahi et al., 2015)
	Product Performance	(Abdollahi et al., 2015)
Quality Management/Quality Sertificate	*Quality Planning*	(Choy & Lee, 2002)
	Quality Assesment	(Chan et al., 2008)
	Preventive and Corrective Action	(Zouggari & Benyoucef, 2012)
	Quality System	(Abdollahi et al., 2015)
Delivery	*Delivery*	(Choy & Lee, 2002), (Chan et al., 2008), (Zouggari & Benyoucef, 2012)
	Supply Chain Velocity	(Rajesh & Ravi, 2015)
	Lead Time	(Abdollahi et al., 2015)
	On Time Delivery	(Abdollahi et al., 2015)
Packaging	*Appropriateness Of The Packaging*	(Abdollahi et al., 2015)
Flexibility On Order Quantity	*Flexibility And Resposiveness*	(Chan et al., 2008)
Flexibility On Order Schedule	*Flexibility And Resposiveness*	(Chan et al., 2008), (Rajesh & Ravi, 2015)
Shipment	*Shipment Quality*	(Choy & Lee, 2002)
	Vulnerability	(Rajesh & Ravi, 2015)

	Safety And Security	(Abdollahi et al., 2015)
Location	*Location*	(Chan et al., 2008), (Zouggari & Benyoucef, 2012)
Accesibility (IT)	*Information Sharing*	(Chan et al., 2008)
	Communication And E-Commerce System	(Abdollahi et al., 2015)
	Information Sharing Level	(Abdollahi et al., 2015)
Complaint	*Customer Service*	(Choy & Lee, 2002)
	Service After Sales	(Zouggari & Benyoucef, 2012)
	Claim Policy	(Abdollahi et al., 2015)
Warranty	*Warranty Policy*	(Abdollahi et al., 2015)
Relationship	*Collaboration*	(Rajesh & Ravi, 2015)
	Communication Openess	(Abdollahi et al., 2015)
	Mutual Trust	(Abdollahi et al., 2015)
Experience	*Reputation*	(Chan et al., 2008)
	Age, Position in Market	(Zouggari & Benyoucef, 2012)
Financial	*Achievement Of Sales*	(Choy & Lee, 2002)
	Financial/Financial Capability	(Choy & Lee, 2002), (Chan et al., 2008), (Abdollahi et al., 2015)
Awards From Outsider	*Vendor's Image*	(Abdollahi et al., 2015)
Organization And Management	*Management*	(Choy & Lee, 2002)
Total Manpower	*Quality Staff*	(Choy & Lee, 2002)
Manpower Skill (Education And Training)	*Human Resource Quality*	(Abdollahi et al., 2015)
Company Culture	*Organization's Culture*	(Choy & Lee, 2002)
	Organizational Learning	(Abdollahi et al., 2015)
Production Planning	*Continuity Management*	(Rajesh & Ravi, 2015)
Production Facilities	*Facility*	(Chan et al., 2008)
	Production Facilities	(Abdollahi et al., 2015)
Production Capacity	*Manufacturing Capability*	(Choy & Lee, 2002)
	Assurance In Supply	(Choy & Lee, 2002)

	Production/Production Capacity	(Choy & Lee, 2002), (Abdollahi et al., 2015)
	Tehnical Capability	(Chan et al., 2008)
	Supply Chain Visibility	(Rajesh & Ravi, 2015)
Research And Development	*Process Improvement*	(Choy & Lee, 2002)
	R&D	(Rajesh & Ravi, 2015), (Zouggari & Benyoucef, 2012)
	Capability R&D And Innovation	(Abdollahi et al., 2015)
The Use Of Technologies	*Technological Capability*	(Rajesh & Ravi, 2015)

(Ristono A et al., 2019)

2.3 Model *Multi Criteria-Decision Making*

2.3.1 *Triangular Fuzzy Number*

Pengambilan keputusan merujuk pada pemilihan alternatif yang optimal atau memuaskan dari sejumlah alternatif. Ketika beberapa kriteria dipertimbangkan, pengambilan keputusan dapat disebut sebagai *Multi Criteria-Decision Making* (MCDM). Inti dari MCDM adalah perangkingan semua alternatif kemudian pemilihan yang optimal dengan menggunakan pendekatan tertentu dan informasi keputusan yang ada dengan mempertimbangkan kriteria yang berbeda (Triantaphyllou, 2000). Zadeh, (1965) mengusulkan teori *Fuzzy Set*. Sebagai perluasan dari teori himpunan klasik, teori ini mampu menyelesaikan masalah praktis pada lingkup ketidakpastian. Dalam penelitian ini, angka *fuzzy* dianggap sebagai TFN dimana tiga angka ditunjukkan sebagai (l, m, r). Parameter $l, m,$ dan r mewakili nilai terendah yang dapat diterima, nilai yang paling diharapkan, dan nilai tertinggi yang dapat diterima, secara berturut-turut. ${}^{M\sim(x)}_{A}$ adalah fungsi keanggotaan TFN yaitu : (Tian et al., 2018)

$$ {}^{M\sim(x)}_{A} = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}; l \le x \le m \\ \frac{r-x}{r-m}; m \le x \le r \\ 0; \quad x \ge r \end{cases} \qquad (1) $$

Operasi aljabar dasar dari dua TFN positif $M_1 = (l_1, m_1, r_1)$ dan $M_2 = (l_2, m_2, r_2)$dan θ adalah angka positif, dapat dinyatakan sebagai berikut (Alvand et al., 2023b)

- *Fuzzy sum*

  $$M_1 + M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, r_1 + r_2); \quad (2)$$

- *Fuzzy subtraction*

  $$M_1 - M_2 = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, r_1 - r_2); \quad (3)$$

- *Fuzzy multiplication*

  $$M_1 \times M_2 = (l_1.\, l_2, m_1.\, m_2, r_1.\, r_2); \quad (4)$$

Tabel 2.2 Variabel Linguistik

Linguistic expressions	*Triangular fuzzy number*
Equal importance	$(1, 1, 1)$
Relatively low importance	$(0.67, 1, 1.5)$
Low importance	$(0.4, 0.5, 0.67)$
Very low importance	$(0.286, 0.33, 0.4)$
Extremely little importance	$(0.22, 0.25, 0.286)$

(Tian et al., 2018)

$$\theta M_1 = (\theta l_1, \theta m_1, \theta r_1); \quad (5)$$

- *Fuzzy* divison

  $$\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{l_1}{l_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{r_1}{r_2}\right), l_1 \geq 0, l_2 > 0. \quad (6)$$

2.3.2 *Fuzzy Best Worst Method* (BWM)

Best Worst Method (BWM) adalah salah satu metode terbaru dalam pengambilan keputusan multi-kriteria (MCDM) yang merupakan bentuk dari perbandingan berpasangan. Dengan pendekatan ini, bobot kriteria dan alternatif yang berkaitan dengan kriteria yang berbeda dapat ditentukan dengan menggunakan perbandingan berpasangan, meminimalkan kebutuhan akan data yang besar (Rezaei, 2015). BWM efektif dalam mengatasi inkonsistensi yang sering muncul dalam perbandingan berpasangan. Berbeda dengan AHP, BWM menggunakan skala penilaian dari 1 hingga 9 untuk perbandingan berpasangan. Pendekatan BWM hanya memerlukan perbandingan referensi, di mana kita hanya perlu menentukan preferensi terbaik dan terburuk dari semua kriteria menggunakan skala penilaian

tersebut. Prosedur ini jauh lebih sederhana dan akurat karena menghindari perbandingan antar-kriteria secara langsung. Namun, penilaian tersebut seringkali subjektif dan ambigu, terutama ketika kriteria dalam skenario yang kompleks dan tidak pasti. Oleh karena itu, dalam beberapa kasus, menggunakan nilai *fuzzy* sebagai alternatif dari nilai yang pasti dapat menghasilkan keputusan yang lebih konsisten dengan kondisi sebenarnya, serta mampu mengurangi ambiguitas dan ketidakpastian yang mungkin muncul (Guo & Zhao, 2017).

Dalam konteks di mana terdapat n kriteria dalam suatu penelitian, perbandingan berpasangan *fuzzy* pada kriteria-kriteria tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan variabel linguistik sebagai panduan bagi pengambil keputusan. Variabel linguistik tersebut meliputi kategori seperti "*Equally Important* (EI)", "*Weakly Important* (WI)", "*Fairly Important* (FI)", "*Very Important* (VI)", dan "*Absolutely Important* (AI)". Untuk mentransformasikan evaluasi linguistik dari pengambil keputusan menjadi bilangan *fuzzy*, aturan transformasi yang disajikan dalam Tabel dibawah dapat digunakan. Aturan ini memungkinkan konversi dari variabel linguistik ke *triangular fuzzy number*. Hasil dari proses transformasi ini adalah matriks perbandingan *fuzzy* yang mencerminkan tingkat keterkaitan antar kriteria-kriteria tersebut. Berikut merupakan matrix perbandingan *fuzzy*

$$\tilde{A} = \begin{array}{c} \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} c_1 & c_2 & \cdots & c_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & \tilde{a}_{nn} \end{bmatrix} \end{array} \quad (7)$$

Tabel 2.3 Variabel Linguistik Metode BWM

Linguistic terms	*Membership function*
Equally importance (EI)	(1,1,1)
Weakly important (WI)	(2/3,1,3/2)

Fairly Important (FI)	(3/2,2,5/2)
Very important (VI)	(5/2,3,7/2)
Absolutely important (AI)	(7/2,4,9/2)

(Guo & Zhao, 2017)

Dalam konteks ini, $\tilde{a}_{ij}$ mengindikasikan preferensi *fuzzy* relatif dari kriteria i terhadap kriteria j, yang direpresentasikan sebagai *triangular fuzzy number*; $\tilde{a}_{ij}$= (1,1,1) ketika i = j. Dari prinsip dasar BWM, dapat diketahui bahwa tidak diperlukan n perbandingan berpasangan *fuzzy* untuk menyelesaikan matriks $\tilde{A}$. Perbandingan berpasangan $\tilde{a}_{ij}$ didefinisikan sebagai perbandingan *fuzzy* referensi jika i adalah elemen terbaik atau j adalah elemen terburuk. Untuk matriks $\tilde{A}$, terdapat total 2n−3 perbandingan *fuzzy* referensi yang harus dilakukan untuk *fuzzy* BWM. Berikut adalah penjelasan langkah-langkah *fuzzy* BWM untuk mendapatkan bobot kriteria.

- **Langkah 1.** Menentukan sejumlah kriteria keputusan.
  Pada langkah ini menentukan sistem kriteria keputusan $(C_1, C_2, C_3, \dots, C_n)$ yang terdiri dari sekumpulan kriteria keputusan yang digunakan untuk mengambil keputusan. Sebagai contoh dalam kasus membeli truk, kriteria keputusan dapat berupa {harga (C_1), kualitas (C_2), gaya (C_3), kenyamanan (C_4), keamanan (C_5)}.
- **Langkah 2.** Menentukan kriteria terbaik (paling diinginkan, paling penting) dan terburuk (paling tidak diinginkan, paling tidak penting).
  Pada langkah ini, mengidentifikasi kriteria terbaik dan terburuk secara umum oleh pengambil keputusan. Tidak ada perbandingan pada tahap ini. Sebagai contoh, untuk mengambil keputusan tertentu, harga (C_1) dan gaya (C_3) mungkin merupakan kriteria terbaik dan terburuk.
- **Langkah 3.** Tentukan perbandingan referensi *fuzzy* untuk kriteria terbaik.
  Perbandingan referensi *fuzzy* sangat penting untuk *fuzzy* BWM. Perbandingan referensi *fuzzy* mencakup dua bagian: satu bagian adalah perbandingan berpasangan $\tilde{a}_{ij}$ dalam kasus dimana i adalah elemen terbaik, dan di sini C_i adalah kriteria terbaik C_B, bagian lainnya adalah

perbandingan berpasangan $\tilde{a}_{ij}$ dalam kasus dimana j adalah elemen terburuk, dan di sini C_j adalah kriteria terburuk C_W. Pada langkah ini merupakan bagian pertama yang akan dilakukan.

Dengan menggunakan istilah linguistik dari para pengambil keputusan yang tercantum pada Tabel 2.2, preferensi *fuzzy* kriteria terbaik dari semua kriteria dapat ditentukan. Kemudian, preferensi *fuzzy* yang diperoleh ditransformasikan ke TFN sesuai dengan aturan transformasi yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 Vektor *fuzzy Best-to-Others* yang diperoleh adalah:

$$\tilde{A}_B = (\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B1}, \dots, \tilde{a}_{Bn}) \quad (8)$$

dimana $\tilde{A}_B$ merepresentasikan vektor *fuzzy Best-to-Others*, $\tilde{a}_{Bj}$ merepresentasikan preferensi *fuzzy* dari kriteria terbaik C_B terhadap kriteria j, j = 1, 2, ... , n. Dapat diketahui bahwa $\tilde{a}_{BB}$ = (1, 1, 1).

- **Langkah 4.** Tentukan perbandingan referensi *fuzzy* untuk kriteria terburuk.

  Pada langkah ini, melakukan perbandingan referensi *fuzzy* yang lain. Dengan menggunakan evaluasi linguistik dari para pengambil keputusan yang tercantum pada Tabel 2.2, preferensi *fuzzy* dari semua kriteria terhadap kriteria terburuk dapat ditentukan, dan kemudian ditransformasikan ke TFN sesuai dengan aturan transformasi yang tercantum pada Tabel 2. Vektor *fuzzy Others-to-Worst* dapat diperoleh sebagai berikut:

  $$\tilde{A}_W = (\tilde{a}_{1W}, \tilde{a}_{1W}, \dots, \tilde{a}_{nW}) \quad (9)$$

  dimana $\tilde{A}_W$ merepresentasikan vektor *fuzzy Others-to-Worst*, $\tilde{a}_{iW}$ merepresentasikan preferensi *fuzzy* kriteria i terhadap kriteria terburuk C_W, i = 1, 2, ... , n. Dapat diketahui bahwa $\tilde{a}_{WW}$ = (1, 1, 1).

- **Langkah 5.** Menentukan bobot *fuzzy* yang optimal $(\tilde{w}_1^*, \tilde{w}_2^*, \dots, \tilde{w}_n^*)$

  Bobot *fuzzy* yang optimal untuk setiap kriteria adalah bobot *fuzzy* yang mana setiap pasangan *fuzzy* $\frac{\tilde{w}_B}{\tilde{w}_j}$ dan $\frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}_w}$, terdapat $\frac{\tilde{w}_B}{\tilde{w}_j} = \tilde{a}_{Bj}$ dan $\frac{\tilde{w}_j}{\tilde{w}_w} = \tilde{a}_{jw}$.

Supaya memenuhi ketentuan tersebut untuk semua j, maka harus mencari solusi dimana perbedaan absolut maksimum untuk semua j diminimalkan yaitu $\left|\frac{\widetilde{W}_B}{\widetilde{W}_j} - \tilde{a}_{Bj}\right|$ dan $\left|\frac{\widetilde{W}_j}{\widetilde{W}_w} - \tilde{a}_{jW}\right|$. Perlu diperhatikan bahwa $\widetilde{W}_B$, $\widetilde{W}_j$, dan $\widetilde{W}_W$ dalam *fuzzy* BWM merupakan *triangular fuzzy number.* Bobot *fuzzy* kriteria yang direpresentasikan oleh TFN $\widetilde{W}_j = \left(l_j^w, m_j^w, u_j^w\right)$ perlu ditransformasikan menjadi nilai *crisp* dengan menggunakan representasi integrasi rata-rata bertingkat (GMIR). Untuk itu dapat diperoleh masalah optimasi terkendala untuk menentukan bobot *fuzzy* yang optimal $(\widetilde{w}_1^*, \widetilde{w}_2^*, \dots, \widetilde{w}_n^*)$ sebagai berikut.

$$\min \max_j \left\{\left|\frac{\widetilde{W}_B}{\widetilde{W}_j} - \tilde{a}_{Bj}\right|, \left|\frac{\widetilde{W}_j}{\widetilde{W}_w} - \tilde{a}_{jw}\right|\right\}$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^{n} R\left(\widetilde{W}_j\right) = 1 \\ l_j^w \le m_j^w \le u_j^w \\ l_j^w \ge 0 \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (10)$$

Dimana $\widetilde{W}_B = (l_B^w, m_B^w, u_B^w)$, $\widetilde{W}_j = \left(l_j^w, m_j^w, u_j^w\right)$, $\widetilde{w}_W = (l_W^w, m_W^w, u_W^w)$, $\tilde{a}_{Bj} = (l_{Bj}, m_{Bj}, u_{Bj})$, $\tilde{a}_{jW} = (l_{jW}, m_{jW}, u_{jW})$.

Dari persamaan (10) dapat diubah ke masalah optimasi berkendala nonlinier sebagai berikut.

$$\min \tilde{\xi}$$

$$s.t. \begin{cases} \left|\frac{w_B}{\widetilde{w}_j} - \tilde{a}_{Bj}\right| \le \tilde{\xi} \\ \left|\frac{\widetilde{w}_j}{\widetilde{w}_W} - \tilde{a}_{jW}\right| \le \tilde{\xi} \\ \sum_{j=1}^{n} R\left(\widetilde{W}_j\right) = 1 \\ l_j^w \le m_j^w \le u_j^w \\ l_j^w \ge 0 \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (11)$$

Dimana $\tilde{\xi} = \left(l^{\xi}, m^{\xi}, u^{\xi}\right)$

Dengan mempertimbangkan $l^{\xi} \leq m^{\xi} \leq u^{\xi}$, dapat diasumsikan $\tilde{\xi}^* = (k^*, k^*, k^*), k^* \leq l^{\xi}$, maka persamaan (11) dapat diubah menjadi sebagai berikut.

$$\min \tilde{\xi}^*$$

$$s.t. \begin{cases} \left| \frac{(l_B^w, m_B^w, u_B^w)}{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)} - (l_{Bj}, m_{Bj}, u_{Bj}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\ \left| \frac{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)}{(l_W^w, m_W^w, u_W^w)} - (l_{jW}, m_{jW}, u_{jW}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\ \sum_{j=1}^{n} R(\widetilde{W}_j) = 1 \\ l_j^w \leq m_j^w \leq u_j^w \\ l_j^w \geq 0 \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (12)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (12) dapat diperoleh bobot *fuzzy* yang optimal $(\widetilde{w}_1^*, \widetilde{w}_2^*, \dots, \widetilde{w}_n^*)$. Kemudian melakukan representasi integrasi rata-rata bertingkat (GMIR) untuk mendapatkan bobot yang jelas *(crisp)* dengan menggunakan rumus persamaan (13).

$$R(\tilde{a}_i) = \frac{l_i + 4m_i + u_i}{6} \quad (13)$$

2.3.2.1 *Consistency Ratio for Fuzzy* BWM

Rasio konsistensi adalah indikator penting untuk memeriksa tingkat konsistensi perbandingan berpasangan. Pada bagian ini, rasio konsistensi diusulkan untuk fuzzy BWM. Perbandingan *fuzzy* dikatakan sepenuhnya konsisten jika $\tilde{a}_{Bj} \times \tilde{a}_{jw} = \tilde{a}_{Bw}$, dimana $\tilde{a}_{Bj}, \tilde{a}_{jw}$, dan $\tilde{a}_{Bw}$ adalah preferensi *fuzzy* dari kriteria terbaik terhadap kriteria terburuk, preferensi *fuzzy* dari kriteria terbaik terhadap kriteria j, dan preferensi *fuzzy* dari kriteria j terhadap kriteria terburuk (Guo & Zhao, 2017)

Dalam penerapannya, mungkin terdapat ketidakkonsistenan pada kriteria j yang berhubungan dengan perbandingan berpasangan. Rasio konsistensi digunakan untuk memeriksa seberapa konsisten perbandingan berpasangan *fuzzy* (Guo & Zhao,

2017). Rasio konsistensi untuk *fuzzy* BWM dapat dihitung sebagai berikut.

Menurut Tabel 2.3, nilai *fuzzy* maksimum yang mungkin dari $\tilde{a}_{Bw}$ adalah (7/2, 4, 9/2), yang sesuai dengan istilah linguistik "*Absolutely important* (AI)" yang diberikan oleh pengambil keputusan. Ketika $\tilde{a}_{Bj} \times \tilde{a}_{jw} = \tilde{a}_{Bw}$, yang berarti $\tilde{a}_{Bj} \times \tilde{a}_{jw}$ bisa lebih tinggi atau lebih rendah dari $\tilde{a}_{Bw}$, maka akan terjadi ketidakkonsistenan dalam perbandingan berpasangan fuzzy. Ketika $\tilde{a}_{Bj}$ dan $\tilde{a}_{jw}$ sama dengan $\tilde{a}_{Bw}$, ketidaksamaan akan mencapai nilai terbesar, yang menghasilkan $\tilde{\xi}$. Dengan mempertimbangkan terjadinya ketidaksamaan terbesar, menurut hubungan kesetaraan , maka dapat diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\left(\tilde{a}_{Bj} - \tilde{\xi}\right) \times \left(\tilde{a}_{jw} - \tilde{\xi}\right) = \left(\tilde{a}_{Bw} - \tilde{\xi}\right) \quad (14)$$

Sedangkan untuk ketidakkonsistenan *fuzzy* maksimum $\tilde{a}_{Bj} = \tilde{a}_{jw} = \tilde{a}_{Bw}$, Persamaan (14) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\left(\tilde{a}_{Bw} - \tilde{\xi}\right) \times \left(\tilde{a}_{Bw} - \tilde{\xi}\right) = \left(\tilde{a}_{Bw} + \tilde{\xi}\right) \quad (15)$$

Kemudian persamaan (15) dapat diturunkan sebagai berikut.

$$\tilde{\xi}^2 - (1 + 2\tilde{a}_{Bw})\tilde{\xi} + (\tilde{a}^2{}_{Bw} - \tilde{a}_{Bw}) = 0 \quad (16)$$

Dimana $\tilde{\xi} = \left(l^{\xi}, m^{\xi}, u^{\xi}\right)$, $\tilde{a}_{Bw} = (l_{BW}, m_{BW}, u_{BW})$.

Untuk $\tilde{a}_{Bw} = (l_{BW}, m_{BW}, u_{BW})$, nilai *fuzzy* maksimum yang mungkin adalah (7/2, 4, 9/2), yang mengindikasikan $l_{BW} = 7/2$, $m_{BW} = 4$, dan $u_{BW} = 9/2$. Ini menunjukkan nilai maksimum l_{BW}, m_{BW}, dan u_{BW} tidak boleh melebihi 9/2. Dalam hal ini, jika kita menggunakan batas atas u_{BW} untuk menghitung indeks konsistensi, semua objek (data) yang berafiliasi dengan TFN $\tilde{a}_{Bw}$ dapat menggunakan indeks konsistensi ini agar rasio konsistensi *fuzzy* tetap efektif dan dapat diterapkan karena indeks konsistensi yang sesuai dengan u_{BW} adalah yang terbesar pada interval

$[l_{BW}, u_{BW}]$. Sementara itu, $\tilde{\xi}$ juga dapat diwakili oleh nilai crisp ξ. Untuk kasus-kasus lain seperti $\tilde{a}_{Bw}$ = (5/2, 3, 7/2), $\tilde{a}_{Bw}$ = (3/2, 2, 5/2), $\tilde{a}_{Bw}$ = (2/3, 1, 3/2), dan $\tilde{a}_{Bw}$= (1, 1, 1), kita dapat melakukan proses yang sama. Oleh karena itu, Persamaan (16) dapat diubah sebagai berikut.

$$\xi^2 - (1 + 2u_{BW})\xi + (u^2{}_{BW} - u_{BW}) = 0 \qquad (17)$$

Dimana masing-masing $u_{BW} = 1, \frac{1}{3}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, dan \frac{9}{2}$

Dengan menyelesaikan Persamaan (17) untuk u_{BW} yang berbeda-beda, ξ maksimum yang mungkin dapat ditemukan, yang digunakan sebagai indeks konsistensi untuk *fuzzy* BWM. Indeks konsistensi yang diperoleh sehubungan dengan perbedaan istilah linguistik pengambil keputusan untuk *fuzzy* BWM tercantum dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Variabel Linguistik *Consistency Ratio*

Linguistic terms	$\tilde{a}_{Bw}$	CI
Equally Importance (EI)	(1, 1, 1)	3,00
Weakly Important (WI)	(2/3, 1, 3/2)	3,80
Fairly Important (FI)	(3/2, 2, 5/2)	5,29
Very Important (VI)	(5/2, 3, 7/2)	6,69
Absolutely Imoportant (AI)	(7/2, 4, 9/2)	8,04

(Guo & Zhao, 2017)

Kemudian menghitung rasio konsistensi dengan menggunakan ξ^* dan indeks konsistensi yang sesuai menggunakan rumus persamaan (18), sebagai berikut:

$$Rasio\ konsistensi = \frac{\xi^*}{Consistency\ index} \qquad (18)$$

Jika rasio konsistensi mendekati 0 maka dapat menunjukkan konsistensi yang tinggi diantara perbandingan berpasangan.

2.3.3 *Fuzzy Weighted Aggregated Sum-Product Assesment* (WASPAS)

(Turskis, 2015) mengemukakan bahwa Metode FWASPAS merupakan salah satu pendekatan MCDM yang menunjukkan tingkat akurasi dan efisiensi tinggi

dalam menangani permasalahan pengambilan keputusan yang kompleks. Pendekatan ini mengintegrasikan *Weighted Product Model* (WPM) dan *Weighted Sum Model* (WSM), serta menyatukan nilai optimalitas dari kedua model tersebut untuk mengevaluasi dan menetapkan prioritas pada opsi-opsi kritis, (Turskis, 2015) mengajukan tujuh langkah dalam penerapan metode WASPAS.

- **Langkah 1**. Pembentukan pengambilan keputusan *fuzzy* matriks. Langkah pertama dalam FWASPAS adalah membentuk matriks keputusan/evaluasi awal sebagai berikut :

$$\tilde{X}_r = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11}^r & \cdots & \tilde{x}_{1j}^r & \cdots & \tilde{x}_{1n}^r \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1}^r & \cdots & \tilde{x}_{ij}^r & \cdots & \tilde{x}_{in}^r \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1}^r & \cdots & \tilde{x}_{mj}^r & \cdots & \tilde{x}_{mm}^r \end{bmatrix}; i = 1, m, j = 1, n, r = 1, k \qquad (14)$$

Tabel 2.5 Variabel Linguistik Metode WASPAS

Linguistic terms	*Corresponding fuzzy numbers*
Very Low (VL)	0.0, 0.0, 0.2
Low (L)	0.0, 0.2, 0.4
Medium (M)	0.2, 0.4, 0.6
High (H)	0.4, 0.6, 0.8
Very High (VH)	0.6, 0.8, 1.0
Excellent (E)	0.8, 1.0, 1.0

(Turskis, 2015)

$\tilde{X}_r = \left[\tilde{x}_{ij}^r\right]_{m\times n}$ adalah matriks keputusan *fuzzy* awal dimana $\tilde{x}_{ij}^r$ merupakan evaluasi *fuzzy* dari opsi ke-i terhadap kriteria keputusan ke-j oleh pengambil keputusan ke-r (DM). juga, m merepresentasikan jumlah alternatif yang dipertimbangkan dan n menentukan jumlah kriteria yang dipilih. Matriks keputusan *fuzzy* dinilai dengan menggunakan pendapat dari k pengambilan keputusan berdasarkan spektrum *fuzzy* yang berbeda dari tabel 2.3.

- **Langkah 2**. Matriks $\tilde{X}$ harus diintergrasikan dengan menggunakan persamaan (15) untuk setiap anggota matriks guna membentuk matriks keputusan *fuzzy* grup awal $\tilde{\tilde{X}}$.

$$\tilde{\tilde{X}}_{ij} = \left(\tilde{\tilde{X}}_{ij\alpha}, \tilde{\tilde{X}}_{ij\beta}, \tilde{\tilde{X}}_{ij\delta}\right) = \sum_{r=1}^{k} \frac{\left(\tilde{x}_{ij\alpha}^{r}, \tilde{x}_{ij\beta}^{r}, \tilde{x}_{ij\delta}^{r}\right)}{k} \quad (15)$$

- **Langkah 3**. Matriks keputusan *fuzzy* dinormalisasi. Normalisasi dilakukan melalui dua persamaan berikut:
  - Untuk kriteria negatif

    $$\tilde{\tilde{X}}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{max_i \tilde{x}_{ij}} \quad (16)$$

  - Untuk kriteria positif

    $$\tilde{\tilde{X}}_{ij} = \frac{min_i \tilde{x}_{ij}}{\tilde{x}_{ij}} \quad (17)$$

  Dimana $\tilde{\tilde{X}}_{ij}$ adalah matriks pengambilan keputusan yang terlah dinormalisasi.
- **Langkah 4**. Menghitung nilai fungsi optimalitas sesuai dengan (Weighted Sum Model) WSM untuk setiap opsi. Matriks model penjumlahan terbobot diperoleh dengan mengalikan bobot standar dengan matriks normal, sesuai dengan persamaan (18).

  $$\tilde{Q}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{\tilde{x}}_{ij}\, \tilde{w}_j\,, \quad i = \overline{1, m,} \quad (18)$$

  Dimana $\tilde{w}_j$ adalah bobot kriteria ke- j
- **Langkah 5**. Menghitung nilai fungsi optimalitas sesuai dengan (Weighted Product Model) WPM untuk setiap opsi. Matriks perkalian terbobot diperoleh dari elemen matriks *fuzzy* normal ke kuasa bobot *fuzzy*, sesuai dengan persamaan (19).

  $$\tilde{P}_i = \prod_{j=1}^{n} \left(\tilde{\tilde{x}}_{ij}\right) \tilde{w}_j, \quad i = \overline{1, m,} \quad (19)$$
- **Langkah 6**. Hasil pengukuran kinerja *fuzzy* setiap opsi adalah angka *fuzzy* $\tilde{Q}_i$ dan $\tilde{P}_i$. Metode COA (Center of Area) adalah yang paling praktis dan sederhana untuk digunakan dalam defuzzifikasi

  $$Q_i = \frac{1}{3}\tilde{Q}_i = \frac{1}{3}\left(\tilde{Q}_{i\alpha}, \tilde{Q}_{i\beta}, \tilde{Q}_{i\delta}\right), \quad i = 1, \ldots, m. \quad (20)$$

  $$P_i = \frac{1}{3}\tilde{P}_i = \frac{1}{3}\left(\tilde{P}_{i\alpha}, \tilde{P}_{i\beta}, \tilde{P}_{i\delta}\right), \quad i = 1, \ldots, m. \quad (21)$$
- **Langkah 7**. Nilai fungsi terintegrasi dari FWASPAS untuk setiap opsi dapat didefinisikan sebagai berikut:

  $$k_i = 0.5Q_i + 0.5P_i\ , \quad 0 \leq k_i \leq 1 \quad (22)$$

  Berdasarkan nilai k_i opsi-opsi tersebut diurutkan berdasarkan peningkatan nilainya. Namun, isu penting dalam metode FWASPAS adalah meningkatkan akurasi dan efektivitas peringkat dalam proses pengambilan keputusan. Untuk

tujuan ini, dapat dikembangkan persamaan umum untuk mengevaluasi total penting relatif dalam merangkai opsi-opsi guna meningkatkan akurasi dan efektivitas peringkat dalam prosedut pengambilan keputusan. Persamaan umum untuk menentukan penting relatif total dari setiap opsi adalah sebagai berikut:

$$k_i^{\lambda} = \lambda \sum_{j=1}^{n} Q_i + (1-\lambda) \sum_{j=1}^{n} p_i, \lambda = 0, \dots, 1, 0 \leq k_i^{\lambda} \leq 1 \quad (23)$$

λ adalah parameter dari FWASPAS, dan perhitungan nilai optimal λ dilakukan dengan menggunakan persamaan (24).

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^{n} P_i}{\sum_{j=1}^{n} P_i + \sum_{j=1}^{n} Q_i} \quad (24)$$

Opsi-opsi dapat diurutkan berdasarkan nilai k_i^{λ}, yaitu opsi teratas memiliki nilai k_i^{λ}tertinggi.

2.3.4 *Multi Segment Goal Programing*

Goal Programming (GP) adalah teknik yang sangat efektif dalam menangani berbagai masalah pengambilan keputusan di mana tujuan ditetapkan untuk setiap atribut, dengan para pengambil keputusan cenderung memprioritaskan pencapaian tujuan yang relevan (Liao, 2013). Namun, GP memiliki keterbatasan dalam menyelesaikan masalah tingkat aspirasi manajemen dan ekonomi yang melibatkan beberapa tingkat aspirasi. Untuk mengatasi hal ini, Liao, (2009) mengusulkan metode *Multi-Segment Goal Programming* (MSGP) yang memungkinkan penyelesaian masalah *Multi-Segment Aspiration Level* (MSAL), di mana para pengambil keputusan dapat menetapkan beberapa tingkat aspirasi untuk setiap tingkat tujuan dalam segmen tersebut.

Metode MSGP membutuhkan data bobot *supplier* dari integrasi BWM-WASPAS, *range* harga pembelian bahan baku, *lead time* dan pengalaman operasi (Fu et al., 2021). Model MSGP dirumuskan dengan fungsin pencapaian berikut (Fu et al., 2021b).

MSGP Model :

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{n} (d_i^+ + d_i^-),$$

$$s.t., f_i(x) + d_i^+ - d_i^- = g_i,$$

$$f_i(x) = \sum_{j=1}^{m} s_{ij} B_{ij}(b) \times x_i, \quad (25)$$

$s_{ij} = s_{i1}\ or\ s_{i2}\ or \ldots\ \ldots\ or\ s_{im}$,

$s_{ij}B_{ij}(b) \in R_i(x),\ i = 0,1,\ldots,n,\quad j = 1,2,\ldots,m$,

$d_i^+, d_i^- \geq 0, i = 0, 1, \ldots, n$,

$X \in F$ (F adalah himpunan yang fisibel),

Dimana d_i^+ dan d_i^- untuk menggambarkan deviasi positif dan negatif dari tujuan ke-i, kita menggunakan $|f_i(x) - g_i|$, selanjutnya, s_{ij} adalah koefisien variabel keputusan yang mengindikasikan tingkat aspirasi multiseluler pada segmen ke-j dari tujuan ke-i. Selain itu, $B_{ij}(b)$ merupakan fungsi yang berkaitan dengan nomor seri biner, dan $R_i(x)$ adalah fungsi yang mempertimbangkan Batasan sumber daya.

Mengikuti ide GP *fuzzy* dari Fu et al., (2021), model MSGP dapat diformulasikan ulang sebagai berikut :

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{n}(d_i^+, d_i^-) + (e_i^+, e_i^-), \tag{26}$$

$$s.t., \sum_{j=1}^{m} s_{ij}B_{ij}(b) \times x_i + d_i^+, d_i^- = g_i, \tag{27}$$

$$\frac{1}{L_i}\left(b_i s_{ij}^{max} + (1 - b_i)s_{ij}^{min}\right) - e_i^+, e_i^-, = \frac{1}{L_i}\left(s_{ij}^{max}\ or\ s_{ij}^{min}\right), \tag{28}$$

$$L_i = \left(s_{ij}^{max} - s_{ij}^{min}\right),$$

$$s_{ij}B_{ij}(b) \in R_i(x), B_i \in \{0, 1\}, d_i^+, d_i^-, e_i^+, e_i^- \geq 0. \tag{29}$$

$X \in F$ (F adalah himpunan yang fisibel),

Deviasi positif (e_i^+) dan deviasi negative (e_i^-) digunakan untuk mengukur perbedaan antara tujuan ke-i, $\left|y_i - s_{ij}^{max}\right|$ atau $\left|y_i - s_{ij}^{min}\right|$; bobot α_i digunakan untuk menentukan pentingnya jumlah deviasi ($e_i^+ + e_i^-$); s_{ij}^{max} dan s_{ij}^{min} adalah batas atas dan batas bawah dari tujuan ke-i. Variabel lainnya dalam model MSGP ditentukan secara spesifik.

2.4 *Literature Riview*

Berikut merupakan tinjuan literatur pengambilan keputusan menggunakan berbagai metode serta kriteria dalam pengambilan keputusan.

Tabel 2.6 *Literature Review*

Peneliti	Subjek Bahasan	Metode	Kriteria
(Fu et al., 2021)	*Selection of in-flight duty-free product suppliers using a combination fuzzy AHP, fuzzy ARAS, and MSGP methods*	*Fuzzy AHP, Fuzzy ARAS, and MSGP methods*	*a). Quality* *b). Price/Cost* *c). Lead Time* *d). Flexibility* *e). Relationship* *f). Technical Capability* *g). Reverse Logistic* *h). Logistic Cost* *i). Rejection Ratio* *j). Environmental Management System* *k). Resource Comsumption* *l). Recycling* *m). Reuses* *n). Ecodesign* *o). Controlling of Ecological Impact* *p). Waste Water* *q). Energy Consumption* *r). Air Emissions* *s). Environmental Code of Conduct* *t). Involvement of Stakeholders* *u). Social Management Commitment* *v). Healt and Safety* *w). Stakeholders Relations* *x). The Rights of Stakeholders* *y). Staff Training* *z). Donations For Sustainable Projects* *aa). Safety Practices* *bb). Annual Number of Accidents*

(Rouyendegh & Saputro, 2014)	*Supplier Selection Using Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP*	*Fuzzy* TOPSIS *and* MCGP	*a). Supply Capacity* *b). Production Capacity* *c). Response Time* *d). Production Technology* *e). Price* *f). Warranty* *g). Procedural Compliance* *h). Purchace Transaction* *i). Communication System* *j). Quality* *k). Completed Shipping Document* *l). Quantity* *m). On Time Delivery* *n). Financial Position* *o). Location* *p). Reputation* *q). Management and Organization*
(Pamucar et al., 2022)	*Selecting an Airport Ground Access Mode*	*Fuzzy* WASPAS *and Fuzzy* LBWA	*a). Financial Aspects* *b). Operating Characteristics* *c). Project Characteristics*
(Mei & Chen, 2021)	*Evaluation and Selection of Sustainable Hydrogrn Production Technology*	*Fuzzy* BWM *and Fuzzy* DEA	*a). Caiptal Cost* *b). Production Cost* *c). Global Warming Potential* *d). Acidification Potential* *e). Safety risk* *f). Healt Risk* *g). Technology Difficulty* *h). Atom Economy* *i). Energy Efficiency* *j). Exergy Efficiency* *k). Tehclogy Innovation* *l). Smartness Potential* *m). Social Acceptaability* *n). Plant Operability*
(Masoomi et al., 2022)	*Strategic Supplier Selection For Renewable Energy*	*Fuzzy* BWM-WASPAS-COPRAS	*a). Service Level* *b). Cost* *c). Quality*

	Supply Chain Under Green Capabilities		
(Qu et al., 2020)	*Green supplier selection based on green practies evaluated in a Chinese internet company*	*Fuzzy TOPSIS and Fuzzy ELECTRE*	*a) Management support for supply chain management* *b) Lean management* *c) Quality after-sales service* *d) Reasonable inventory management*
(Gupta et al., 2019)	*Green supplier selection a case study in automotive industry*	*Multi-criterion decision making under fuzzy enviroment*	*a) Resource consumption* *b) Service level* *c) Price* *d) quality*

Berdasarkan tinjauan literatur, penelitian ini memiliki perbedaan dalam penggunaan integrasi metode dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Fu et al., 2021). Namun dalam penelitian ini, peneliti menggunakan integrasi fuzzy BWM-WASPAS dan *Multi Segment Goal programing* sebagai metodologi pelengkap dari penelitian sebelumnya. Kelebihan penggunaan FBWM adalah kemampuan menghasilkan tingkat konsistensi yang lebih tinggi dibandingkan metode tradisional seperti AHP (Jurnal et al., 2022). FBWM digunakan untuk memberikan bobot kriteria yang digunakan untuk menentukan skor samar untuk model perencanaan strategis yang dipertimbangkan (Ajripour & Hanne, 2023). FWASPAS merupakan salah satu pendekatan MCDM yang paling akurat dan efisien dalam masalah pengambilan keputusan kompleks. Metode tersebut merupakan kombinasi dari dua model yaitu Weighted Product Model (WPM) dan Weighted Sum Model (WSM), hasil akhir dari perhitungan dua model terpisah ini berdasarkan nilai kriteria optimal dan prioritas opsi tercapai (Alvand et al., 2023a). Kemudian untuk memperoleh hasil yang lebih tepat, penelitian ini menggunakan metode Multi-Segment Goal Programming (MSGP) pada *software* Lingo dalam proses evaluasi *supplier* yang paling sesuai dengan tujuan perusahaan.