Evaluasi Keberlanjutan Pemasok Pasir Menggunakan Integrasi DEA–TOPSIS pada Industri Beton

Sustainability Evaluation of Sand Suppliers Using DEA–TOPSIS Integration in the Concrete Industry

Rahmad Wisnu Wardana [1*], Muhammad Irfan Khoirullah [2], Dewi Rahmasari [3], Amelia Khoidir[4], Tyas Yuli Rosiani [5]

[12345)] Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No.246, Kota Malang, Jawa Timur, (0341) 551253
*Korespondensi Penulis, E-mail: Rahmadwisnu78@umm.ac.id

Diterima 15 Mei, 2026; Disetujui 24 Juni, 2026; Dipublikasikan 31 Oktober, 2026

Abstrak

Evaluasi pemasok berkelanjutan penting bagi industri beton karena kualitas, ketepatan pasokan, dan tanggung jawab sosial-lingkungan pemasok memengaruhi stabilitas produksi. Penelitian ini bertujuan menentukan prioritas pemasok pasir PT Varia Usaha Beton berdasarkan kriteria keberlanjutan. Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis integrasi *Data Envelopment Analysis* dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*. Tiga pemasok, yaitu Barokah Jaya, Barokah Mulya, dan Puskopol, dievaluasi menggunakan 13 subkriteria ekonomi, sosial, dan lingkungan melalui data observasi, wawancara, kuesioner, dan dokumen perusahaan. Hasil *Data Envelopment Analysis* menunjukkan bahwa seluruh pemasok memperoleh nilai efisiensi relatif sebesar 1, sehingga semuanya berada pada *frontier* efisiensi. Namun, hasil tersebut belum mampu membedakan prioritas pemasok. Integrasi dengan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* menghasilkan peringkat akhir yang lebih diskriminatif: Barokah Jaya memperoleh nilai tertinggi sebesar 0,993, diikuti Barokah Mulya sebesar 0,991 dan Puskopol sebesar 0,987. Temuan ini menunjukkan bahwa Barokah Jaya menjadi pemasok prioritas, sementara pemasok lain tetap kompetitif tetapi memerlukan perbaikan indikator tertentu. Studi ini memberikan kerangka objektif bagi evaluasi dan pengembangan pemasok pasir berkelanjutan.
Kata kunci: DEA–TOPSIS; evaluasi pemasok berkelanjutan; industri beton; pemasok pasir.

Abstract

Sustainable supplier evaluation is important for the concrete industry because supplier quality, supply accuracy, and social-environmental responsibility affect production stability. This study aims to determine the priority of sand suppliers at PT Varia Usaha Beton based on sustainability criteria. This study uses a quantitative approach based on the integration of Data Envelopment Analysis and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution. Three suppliers, namely Barokah Jaya, Barokah Mulya, and Puskopol, were evaluated using 13 economic, social, and environmental subcriteria through observation, interviews, questionnaires, and company documents. The Data Envelopment Analysis results show that all suppliers obtained a relative efficiency score of 1, meaning that all suppliers were positioned on the efficiency frontier. However, these results were not yet able to distinguish supplier priorities. Integration with the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution produced a more discriminative final ranking: Barokah Jaya obtained the highest score of 0.993, followed by Barokah Mulya at 0.991 and Puskopol at 0.987. These findings indicate that Barokah Jaya is the priority supplier, while the other suppliers remain competitive but require improvement in certain indicators. This study provides an objective framework for the evaluation and development of sustainable sand suppliers.
***Keywords**: Concrete industry; DEA–TOPSIS; sand supplier; sustainable supplier evaluation.*

1. Pendahuluan

Pemilihan pemasok berkelanjutan menjadi isu strategis dalam pengelolaan rantai pasok industri beton karena keputusan pengadaan bahan baku tidak hanya menentukan biaya dan mutu produksi, tetapi juga memengaruhi kinerja sosial, lingkungan, dan ketahanan operasional perusahaan. Literatur menunjukkan bahwa penerapan *sustainable supply chain management* dalam sektor konstruksi mampu

meningkatkan kinerja proyek, mengurangi keterlambatan, memperkuat hubungan jangka panjang, serta meningkatkan daya tahan rantai pasok melalui komitmen manajemen puncak dan tanggung jawab sosial perusahaan (T. & S., 2023). Integrasi pemasok dan penggunaan material berkelanjutan juga terbukti berkontribusi terhadap profitabilitas dan kinerja operasional industri konstruksi (Kamal et al., 2021). Dalam konteks ini, evaluasi pemasok perlu bergerak melampaui pendekatan tradisional berbasis harga, kualitas, dan pengiriman menuju model yang mengintegrasikan kriteria ekonomi, sosial, dan lingkungan secara sistematis.

Pentingnya evaluasi pemasok semakin kuat pada industri beton karena pasir merupakan salah satu bahan baku utama yang menentukan kualitas campuran, stabilitas produksi, dan kepuasan pelanggan. Variabilitas kadar air, gradasi, dan mutu bahan dapat menurunkan kuat tekan, meningkatkan porositas, memperbesar risiko bleeding, serta memengaruhi durabilitas beton (Angeles et al., 2023; Park et al., 2024). Ketidaksesuaian gradasi pasir dapat meningkatkan porositas dan variasi mutu antar *batch* apabila tidak dikoreksi secara tepat (Hattani et al., 2024). Selain itu, keterlambatan pengiriman dan kinerja pemasok yang buruk diakui sebagai penyebab gangguan jadwal, penurunan produktivitas, dan melemahnya kualitas pekerjaan beton (Z. Chen et al., 2023; Yudhistira et al., 2024). Oleh karena itu, pemilihan pemasok pasir harus mempertimbangkan konsistensi teknis material, keandalan pengiriman, biaya logistik, serta dampak sosial dan lingkungan dari aktivitas pemasok.

Permasalahan utama dalam penelitian ini muncul dari kondisi PT Varia Usaha Beton yang memiliki tiga pemasok pasir, yaitu Barokah Jaya, Barokah Mulya, dan Puskopol, dengan sistem pasokan bergilir sekitar 1000 m^3 per bulan. Meskipun sistem ini bertujuan menjaga kontinuitas pasokan dan mengurangi risiko operasional, perusahaan masih menghadapi keterlambatan pengiriman, ketidaksesuaian kualitas pasir, kadar air dan gradasi yang tidak memenuhi harapan, serta perbedaan antara sampel awal dan material yang dikirim. Di sisi sosial dan lingkungan, terdapat persoalan penggunaan alat pelindung diri pekerja tambang, ketidakteraturan jam kerja, dan keterbatasan sumber daya pasir. Masalah tersebut menunjukkan perlunya model evaluasi yang mampu menilai pemasok secara objektif, komprehensif, dan sejalan dengan prinsip keberlanjutan.

Literatur sebelumnya menawarkan berbagai pendekatan pengambilan keputusan multikriteria untuk pemilihan pemasok berkelanjutan. AHP, DEA, dan TOPSIS merupakan beberapa metode pengambilan keputusan multikriteria yang banyak digunakan dalam studi *green supplier selection* dan *sustainable supplier selection* karena mampu mengevaluasi alternatif pemasok berdasarkan banyak kriteria secara simultan (Karakoç et al., 2023; Tronnebati et al., 2022). DEA banyak digunakan untuk mengukur efisiensi relatif pemasok sebagai *decision-making units* dengan mempertimbangkan banyak *input* dan *output* secara simultan (Islam & Arakawa, 2022; Mishra et al., 2022). Namun, DEA konvensional memiliki keterbatasan karena sering hanya membedakan unit efisien dan tidak efisien, sehingga kurang mampu menghasilkan pemeringkatan lengkap ketika beberapa pemasok memperoleh skor efisiensi yang sama (Shirkouhi et al., 2023). TOPSIS melengkapi keterbatasan tersebut karena mampu memberikan peringkat ordinal berdasarkan kedekatan alternatif terhadap solusi *ideal* dan *anti-ideal* (Islam & Arakawa, 2022; Tronnebati et al., 2022).

Sejumlah studi telah mengembangkan model hibrida untuk evaluasi pemasok berkelanjutan, misalnya kombinasi fuzzy BWM, TOPSIS, DEA, WASPAS, COPRAS, dan MOORA pada berbagai sektor manufaktur dan logistik (Afrasiabi et al., 2022; Hoseini et al., 2021; Mishra et al., 2022). Dalam sektor konstruksi, pendekatan *fuzzy* AHP–TOPSIS, BWM–TOPSIS, PROMETHEE, dan model berbasis circular supplier selection telah digunakan untuk menilai pemasok material bangunan secara umum (Bajwa et al., 2025; Bhuiyan & Hammad, 2023; Karabayir & Botsalı, 2021; Tushar et al., 2022). Namun, kajian yang secara khusus mengintegrasikan DEA dan TOPSIS untuk mengevaluasi keberlanjutan pemasok pasir pada industri beton masih terbatas. Literatur menunjukkan bahwa penerapan DEA–TOPSIS lebih banyak ditemukan pada konteks pemasok umum, teknologi hijau, atau sektor non-konstruksi, bukan pada evaluasi pemasok pasir yang memiliki karakteristik teknis seperti kadar air, gradasi, dan konsistensi kualitas material (Čiković et al., 2022; Nguyen et al., 2022; Wibowo & Pramesti, 2026).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja keberlanjutan pemasok pasir pada PT Varia Usaha Beton menggunakan integrasi DEA–TOPSIS. Kontribusi utama penelitian ini tidak terletak pada pengembangan metode baru, melainkan pada penerapan kerangka

DEA–TOPSIS dalam konteks evaluasi pemasok pasir industri beton. Konteks ini memiliki karakteristik spesifik karena penilaian pemasok pasir tidak hanya berkaitan dengan biaya, kualitas, dan ketepatan pengiriman, tetapi juga mencakup konsistensi mutu material, hubungan kerja sama dengan pemasok, serta dampak sosial dan lingkungan dari aktivitas penambangan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi inkremental terhadap literatur evaluasi pemasok berkelanjutan melalui penerapan DEA–TOPSIS pada rantai pasok material beton, khususnya pemasok pasir, dengan mempertimbangkan dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan secara simultan. Ruang lingkup penelitian mencakup tiga pemasok pasir dan 13 subkriteria keberlanjutan. Secara praktis, hasil penelitian diharapkan dapat membantu perusahaan menetapkan prioritas pemasok, mengidentifikasi indikator perbaikan, dan memperkuat pengelolaan rantai pasok yang lebih berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

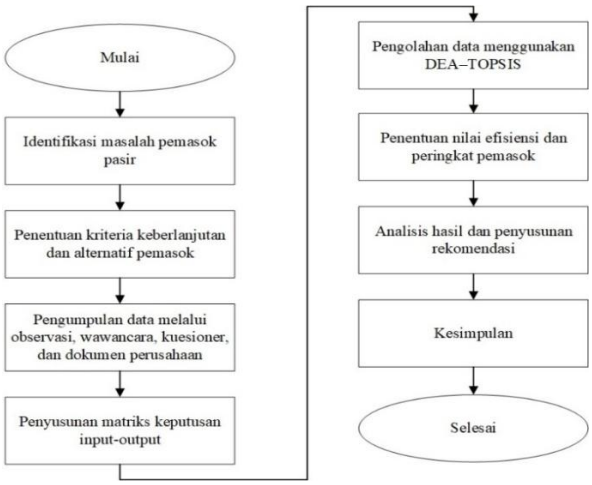
2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus kuantitatif berbasis pengambilan keputusan multikriteria untuk mengevaluasi keberlanjutan pemasok pasir pada PT Varia Usaha Beton. Pendekatan studi kasus dipilih karena memungkinkan analisis mendalam terhadap konteks keputusan nyata, mengintegrasikan data perusahaan, penilaian ahli, observasi lapangan, dan dokumen operasional dalam satu kerangka evaluasi (Afrasiabi et al., 2022; Nguyen et al., 2022). Metode utama yang digunakan adalah integrasi *Data Envelopment Analysis* dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*. DEA digunakan untuk mengukur efisiensi relatif pemasok sebagai *decision-making units* berdasarkan hubungan antara *input* dan *output*, sedangkan TOPSIS digunakan untuk menghasilkan peringkat akhir berdasarkan kedekatan pemasok terhadap kondisi *ideal* dan jaraknya dari kondisi *anti-ideal*. Integrasi ini relevan karena DEA digunakan untuk membangun *frontier* efisiensi dan mengidentifikasi pemasok yang efisien secara relatif. Selanjutnya, TOPSIS digunakan untuk memberikan pemeringkatan yang lebih diskriminatif ketika beberapa unit memiliki skor efisiensi yang sama (Čiković et al., 2022; Mishra et al., 2022; Omrani et al., 2022).

2.2 Objek, Unit Analisis, dan Sumber Data

Objek penelitian adalah pemasok pasir PT Varia Usaha Beton. Unit analisis adalah setiap pemasok yang diperlakukan sebagai *Decision Making Unit* atau DMU. Tiga DMU yang dievaluasi adalah Barokah Jaya, Barokah Mulya, dan Puskopol. Jumlah DMU tersebut ditetapkan karena ketiganya merupakan seluruh pemasok aktif yang memasok pasir kepada PT Varia Usaha Beton selama periode penelitian, sehingga evaluasi dilakukan dengan pendekatan sensus terhadap pemasok eksisting, bukan pemilihan sampel. Pemasok potensial di luar tiga pemasok tersebut tidak dimasukkan dalam evaluasi karena penelitian ini berfokus pada penilaian kinerja pemasok yang telah menjalin hubungan pasokan dengan perusahaan dan memiliki data operasional yang dapat dibandingkan secara konsisten. Selain itu, selama periode penelitian tidak terdapat penambahan maupun pengurangan pemasok pasir. Ketiga pemasok dinilai menggunakan kriteria yang sama agar hasil evaluasi dapat dibandingkan secara konsisten. Data primer diperoleh melalui observasi, wawancara, dan kuesioner kepada pihak pengadaan yang memahami proses pembelian, penerimaan, dan evaluasi pemasok pasir. Data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan, catatan pemasok, dan literatur terkait pemilihan pemasok berkelanjutan. Pemilihan responden dilakukan secara purposive karena validitas penilaian dalam studi pemasok sangat bergantung pada keterlibatan dan kompetensi praktis penilai (Boukrouh et al., 2024; Hezam et al., 2024).

2.3 Flowchart Penelitian



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian yang dimulai dari identifikasi masalah pemasok pasir, penentuan kriteria keberlanjutan dan alternatif pemasok, pengumpulan data melalui observasi, wawancara, kuesioner, dan dokumen perusahaan, penyusunan matriks keputusan input-output, pengolahan data menggunakan DEA–TOPSIS, penentuan nilai efisiensi dan peringkat pemasok, hingga analisis hasil dan penyusunan rekomendasi. Alur ini mengikuti prinsip evaluasi pemasok berbasis MCDM yang menuntut definisi kriteria, pengumpulan data terstruktur, pengolahan model, serta interpretasi hasil untuk mendukung keputusan manajerial (Fallahpour et al., 2021).

2.4 Kriteria Evaluasi Pemasok

Kriteria evaluasi disusun berdasarkan konsep keberlanjutan yang mencakup dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Pemilihan ketiga dimensi tersebut didasarkan pada prinsip *triple bottom line*, yaitu bahwa kinerja pemasok tidak hanya dinilai dari efisiensi biaya, tetapi juga dari tanggung jawab sosial dan pengelolaan dampak lingkungan. Dalam konteks pemasok pasir PT Varia Usaha Beton, pendekatan ini relevan karena permasalahan pemasok tidak hanya berkaitan dengan harga bahan baku, tetapi juga mencakup keterlambatan pengiriman, ketidaksesuaian kualitas pasir, penerapan keselamatan kerja pekerja tambang, serta keterbatasan sumber daya pasir.

Dimensi ekonomi dipilih karena pemasok pasir berpengaruh langsung terhadap biaya produksi, biaya logistik, kualitas material, dan kelancaran jadwal produksi beton. Oleh karena itu, subkriteria biaya transportasi, biaya produk, kualitas produk, efisiensi pelayanan dalam penjadwalan, dan hubungan dengan pemasok digunakan untuk menilai kemampuan pemasok dalam mendukung efisiensi operasional perusahaan. Dimensi sosial dipilih karena aktivitas pemasok melibatkan tenaga kerja tambang dan hubungan kerja sama jangka panjang dengan perusahaan. Subkriteria hak karyawan, kesehatan dan keselamatan kerja, reputasi, dan customer issues digunakan untuk menilai tanggung jawab sosial, keandalan, dan kemampuan pemasok dalam menangani permasalahan pelanggan. Sementara itu, dimensi lingkungan dipilih karena pasokan pasir berkaitan langsung dengan aktivitas ekstraksi sumber daya alam. Subkriteria sertifikasi ramah lingkungan, konsumsi sumber daya, waste management, dan sistem manajemen lingkungan digunakan untuk menilai komitmen pemasok dalam mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas operasionalnya.

Dalam DEA, kriteria input merepresentasikan sumber daya, biaya, atau aspek yang perlu dikendalikan dan diminimalkan, sedangkan kriteria *output* merepresentasikan capaian kinerja atau manfaat yang diharapkan dari pemasok (Dobos & Vörösmarty, 2023b; Kweh et al., 2024). Dengan demikian, pemilihan kriteria dalam penelitian ini mempertimbangkan tiga dasar utama, yaitu kesesuaian dengan literatur evaluasi pemasok berkelanjutan, relevansi terhadap permasalahan aktual perusahaan, dan ketersediaan data yang dapat dinilai secara konsisten pada seluruh pemasok.

Tabel 1. Kriteria dan Subkriteria Evaluasi Keberlanjutan Pemasok

Dimensi	Subkriteria	Klasifikasi DEA	Keterangan Singkat	Justifikasi Klasifikasi DEA	Sumber Referensi
Ekonomi	Biaya transportasi	*Input*	Biaya pengiriman pasir dari pemasok ke perusahaan.	Termasuk kriteria biaya yang perlu diminimalkan karena semakin rendah biaya logistik semakin efisien pemasok.	**(Dobos & Vörösmarty, 2023a; Masudin et al., 2024)**
Ekonomi	Biaya produk	*Input*	Harga pasir yang ditawarkan pemasok.	Termasuk kriteria biaya pembelian yang perlu ditekan tanpa menurunkan kualitas material.	(Hou et al., 2022; Zhu et al., 2022)
Ekonomi	Kualitas produk	*Output*	Kesesuaian pasir dengan spesifikasi mutu, kadar air, dan gradasi.	Termasuk capaian kinerja yang perlu dimaksimalkan karena kualitas pasir menentukan mutu dan stabilitas produksi beton.	(Angeles et al., 2023; Park et al., 2024)
Ekonomi	Efisiensi pelayanan dalam penjadwalan	*Output*	Ketepatan pemasok dalam memenuhi jadwal pengiriman.	Termasuk capaian layanan yang perlu dimaksimalkan karena ketepatan jadwal mendukung kontinuitas produksi.	**(H. Chen & Wang, 2025; Yudhistira et al., 2024)**
Ekonomi	Menjalin hubungan dengan pemasok	*Output*	Kemampuan membangun kerja sama dan komunikasi jangka panjang.	Termasuk manfaat relasional yang perlu dimaksimalkan karena hubungan kolaboratif mendukung stabilitas rantai pasok.	**(Govindan et al., 2023; Liu & Lin, 2021)**
Sosial	Reputasi	*Output*	Citra dan rekam jejak pemasok dalam kerja sama.	Termasuk capaian sosial dan bisnis yang mencerminkan kepercayaan serta keandalan pemasok.	(Ince et al., 2023; Sharma et al., 2024)
Sosial	Hak karyawan	*Output*	Pemenuhan hak tenaga kerja pada aktivitas pemasok.	Termasuk kinerja sosial yang perlu dimaksimalkan karena mencerminkan kepatuhan tenaga kerja dan tanggung jawab sosial pemasok.	(Ince et al., 2023; Sharma et al., 2024)
Sosial	*Customer issues*	*Output*	Kemampuan pemasok menangani keluhan pelanggan.	Termasuk capaian layanan yang perlu dimaksimalkan karena menunjukkan responsivitas pemasok terhadap masalah pelanggan.	(Masudin et al., 2024; Zhu et al., 2022)
Sosial	Kesehatan dan Keselamatan Kerja/K3	*Output*	Penerapan keselamatan kerja, termasuk penggunaan APD.	Termasuk kinerja sosial yang perlu dimaksimalkan karena semakin baik penerapan K3 semakin rendah risiko sosial dan operasional.	(Ince et al., 2023; Sharma et al., 2024)
Lingkungan	Sertifikasi ramah lingkungan	*Output*	Kepemilikan atau pemenuhan standar lingkungan.	Termasuk capaian lingkungan yang perlu dimaksimalkan karena menunjukkan komitmen formal pemasok terhadap praktik ramah lingkungan.	**(Bardan & Czarnecki, 2025; De Castro E Silva et al., 2022)**
Lingkungan	Efisiensi konsumsi sumber daya	*Output*	Efisiensi penggunaan sumber daya dalam aktivitas pemasok.	Termasuk capaian lingkungan yang perlu dimaksimalkan karena semakin efisien penggunaan sumber daya semakin baik kinerja keberlanjutan.	**(Singh et al., 2024)**
Lingkungan	*Waste management*	*Output*	Pengelolaan limbah dan dampak operasional.	Termasuk capaian lingkungan yang perlu dimaksimalkan karena menunjukkan kemampuan pemasok mengendalikan limbah dan dampak operasional.	(De Castro E Silva et al., 2022)

Dimensi	Subkriteria	Klasifikasi DEA	Keterangan Singkat	Justifikasi Klasifikasi DEA	Sumber Referensi
Lingkungan	Sistem manajemen lingkungan	*Output*	Kebijakan dan pengendalian dampak lingkungan.	Termasuk capaian lingkungan yang perlu dimaksimalkan karena mencerminkan sistem pengelolaan dampak lingkungan secara terstruktur.	(Afrasiabi et al., 2022; Ince et al., 2023)

Penempatan subkriteria sebagai input dan output dalam DEA didasarkan pada arah preferensi masing-masing indikator. Subkriteria yang merepresentasikan biaya atau beban operasional yang perlu diminimalkan diklasifikasikan sebagai *input*, seperti biaya transportasi dan biaya produk. Sebaliknya, subkriteria yang merepresentasikan capaian kinerja, manfaat, atau kemampuan pemasok yang perlu dimaksimalkan diklasifikasikan sebagai *output*, seperti kualitas produk, ketepatan penjadwalan, reputasi, K3, sistem manajemen lingkungan, dan *waste management*. Dengan demikian, klasifikasi DEA dalam penelitian ini disusun agar selaras dengan prinsip evaluasi efisiensi, yaitu meminimalkan penggunaan sumber daya atau biaya sekaligus memaksimalkan capaian kinerja pemasok.

2.5 Skala Penilaian dan Validasi Data

Penilaian kinerja pemasok dilakukan menggunakan skala 1–5, yaitu 1 untuk sangat buruk, 2 untuk buruk, 3 untuk cukup, 4 untuk baik, dan 5 untuk sangat baik. Transformasi penilaian kualitatif menjadi skor numerik lazim digunakan dalam metode *multi-criteria decision making* karena memungkinkan informasi dari kuesioner, wawancara, dan observasi dikonversi menjadi matriks keputusan yang dapat diolah secara kuantitatif (Boukrouh et al., 2024; Hezam et al., 2024). Validitas data dilakukan melalui tiga tahap. Pertama, validitas isi dilakukan dengan menyusun kriteria dan subkriteria berdasarkan literatur evaluasi pemasok berkelanjutan serta menyesuaikannya dengan permasalahan aktual perusahaan. Kedua, validitas operasional dilakukan dengan memberikan definisi yang jelas pada setiap subkriteria agar penilai memiliki pemahaman yang sama terhadap indikator yang dinilai. Ketiga, validitas empiris dilakukan melalui triangulasi sumber, yaitu membandingkan hasil kuesioner dengan hasil wawancara, observasi lapangan, dan dokumen perusahaan. Apabila terdapat perbedaan antara hasil penilaian dan kondisi aktual, dilakukan klarifikasi ulang kepada pihak pengadaan untuk memastikan bahwa skor yang digunakan mencerminkan kondisi pemasok secara wajar.

Uji reliabilitas statistik seperti *Cronbach's alpha* tidak dilakukan karena instrumen penelitian ini tidak dirancang untuk mengukur satu konstruk laten dengan beberapa item yang homogen, melainkan untuk menilai beberapa subkriteria yang berdiri sendiri dalam kerangka evaluasi pemasok. Setiap subkriteria, seperti biaya produk, kualitas pasir, K3, reputasi, dan *waste management*, merepresentasikan aspek kinerja yang berbeda sehingga tidak harus memiliki konsistensi internal yang tinggi sebagaimana disyaratkan dalam pengukuran psikometrik. Oleh karena itu, reliabilitas data dalam penelitian ini dijaga melalui konsistensi prosedur penilaian, penggunaan skala yang sama untuk seluruh pemasok, penilaian oleh pihak yang memahami proses pengadaan, serta verifikasi silang dengan wawancara, observasi, dan dokumen perusahaan. Pendekatan ini sesuai dengan karakter penelitian berbasis *decision-making* yang menekankan konsistensi penilaian antar alternatif pada kriteria yang sama.

2.6 Langkah-Langkah Penyelesaian DEA–TOPSIS

Pengolahan data dilakukan dengan mengintegrasikan *Data Envelopment Analysis* dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*. Setiap pemasok pasir diperlakukan sebagai *Decision Making Unit* atau DMU yang dievaluasi berdasarkan kombinasi beberapa kriteria *input* dan *output*. DEA digunakan untuk mengukur efisiensi relatif setiap pemasok, sedangkan TOPSIS digunakan untuk menentukan peringkat akhir berdasarkan kedekatan pemasok terhadap kondisi *ideal* dan jaraknya dari kondisi *anti-ideal*. Integrasi kedua metode ini digunakan karena DEA mampu mengidentifikasi posisi efisiensi relatif pemasok, tetapi sering kali belum cukup diskriminatif ketika beberapa DMU memperoleh nilai efisiensi yang sama; TOPSIS kemudian melengkapi proses tersebut dengan menghasilkan peringkat akhir yang lebih jelas (Dobos & Vörösmarty, 2023a; Mishra et al., 2022; Omrani et al., 2022).

Tahap pertama adalah menyusun matriks keputusan *input-output*. Misalkan terdapat *j* pemasok sebagai DMU, *n* kriteria *input*, dan *m* kriteria *output*. Variabel x_{ij} menunjukkan nilai *input* ke-*i* pada DMU ke-*j*, sedangkan y_{rj} menunjukkan nilai *output* ke-*r* pada DMU ke-*j*. Bobot *input* dinyatakan dengan v_i, sedangkan bobot *output* dinyatakan dengan u_r. Kriteria *input* merepresentasikan faktor yang perlu dikendalikan atau diminimalkan, seperti biaya produk, biaya transportasi, konsumsi sumber daya, dan risiko operasional. Sebaliknya, kriteria *output* merepresentasikan capaian kinerja yang diharapkan, seperti reputasi, kualitas hubungan kerja sama, sertifikasi lingkungan, dan pengelolaan limbah.

Tahap kedua adalah menghitung efisiensi relatif setiap DMU menggunakan model DEA. Untuk DMU ke-*j*, model dasar DEA dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E_j : max \sum_{r=1}^{m} u_r y_{rj} \quad (1)$$

dengan kendala:

$$\sum_{i=1}^{n} v_i x_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^{m} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{n} v_i x_{ij} \leq 0, \forall_j \quad (3)$$

$$v_{i,} u_r \geq 0 \; \forall i, r \quad (4)$$

E_j menunjukkan nilai efisiensi relatif DMU ke-*j*. DMU dinyatakan efisien apabila nilai efisiensinya sama dengan 1, sedangkan nilai di bawah 1 menunjukkan bahwa DMU belum berada pada *frontier* efisiensi relatif. Dalam konteks penelitian ini, model tersebut digunakan untuk menilai apakah pemasok pasir telah memanfaatkan kombinasi input secara efisien untuk menghasilkan output keberlanjutan yang diharapkan.

Tahap ketiga adalah membentuk *Ideal Decision Making Unit* atau IDMU. IDMU merepresentasikan kondisi terbaik yang secara teoritis dapat dicapai oleh pemasok, yaitu kombinasi dari nilai *input* minimum dan *output* maksimum dari seluruh DMU. Secara matematis, nilai IDMU didefinisikan sebagai berikut:

$$x_i^I = \min_j \{x_{ij}\} \quad (5)$$

$$y_i^I = \max_j \{y_{rj}\} \quad (6)$$

Dengan demikian, IDMU menggambarkan pemasok hipotetis yang memiliki penggunaan *input* paling rendah dan capaian *output* paling tinggi. Nilai efisiensi IDMU kemudian dihitung dan dinyatakan sebagai IDMU*.

Tahap keempat adalah membentuk *Anti-Ideal Decision Making Unit* atau ADMU. ADMU menggambarkan kondisi terburuk, yaitu kombinasi dari nilai *input* maksimum dan *output* minimum dari seluruh DMU. Secara matematis, ADMU dirumuskan sebagai berikut:

$$x_i^A = \max_j \{x_{ij}\} \quad (7)$$

$$y_i^A = \min_j \{y_{rj}\} \quad (8)$$

ADMU menunjukkan kondisi pemasok hipotetis yang paling tidak diharapkan karena menggunakan *input* tertinggi dan menghasilkan *output* terendah. Nilai efisiensi ADMU kemudian dihitung dan dinyatakan sebagai ADMU*.

Tahap kelima adalah menghitung kedekatan efisiensi setiap pemasok terhadap kondisi *ideal* dan *anti-ideal*. Nilai efisiensi DMU ke-*j* terhadap IDMU dinyatakan sebagai θ_j^*, sedangkan nilai efisiensi DMU ke-*j* terhadap ADMU dinyatakan sebagai φ_j^*. Nilai θ_j^* menunjukkan seberapa dekat pemasok terhadap kondisi *ideal*, sementara φ_j^* digunakan untuk melihat posisi pemasok relatif terhadap kondisi *anti-ideal*. Kedua nilai ini menjadi dasar dalam perhitungan indeks kedekatan relatif TOPSIS.

Tahap keenam adalah menghitung indeks kedekatan relatif atau RC_j. Dalam pendekatan TOPSIS, alternatif terbaik adalah alternatif yang memiliki jarak paling dekat terhadap solusi *ideal* dan paling jauh dari solusi *anti-ideal*. Oleh karena itu, indeks kedekatan relatif dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D_j^+ = IDMU^* - \theta_j^* \quad (9)$$

$$D_j^- = \varphi_j^* + ADMU^* \quad (10)$$

$$RC_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (11)$$

atau secara lengkap:

$$RC_j = \frac{\varphi_j^* + ADMU^*}{(\varphi_j^* - ADMU^*) - (IDMU^* - \theta_j^*)} \quad (12)$$

D_j^+ menunjukkan jarak DMU ke-j terhadap kondisi *ideal*, sedangkan D_j^- menunjukkan jarak DMU ke-j terhadap kondisi *anti-ideal*. Nilai RC_j berada pada rentang 0 sampai 1. Semakin tinggi nilai RC_j, semakin dekat pemasok terhadap kondisi ideal dan semakin jauh dari kondisi anti-ideal. Dengan demikian, pemasok dengan nilai RC_j tertinggi ditetapkan sebagai pemasok prioritas. Berdasarkan tahapan tersebut, penyelesaian DEA–TOPSIS dalam penelitian ini dilakukan melalui penyusunan matriks keputusan *input-output*, perhitungan efisiensi DEA setiap pemasok, pembentukan DMU *ideal* dan *anti-ideal*, perhitungan nilai efisiensi terhadap IDMU dan ADMU, serta penentuan nilai kedekatan relatif sebagai dasar pemeringkatan akhir pemasok pasir.

3. Hasil

3.1 Data Penilaian Supplier

Penelitian ini mengevaluasi tiga pemasok pasir PT Varia Usaha Beton, yaitu Barokah Jaya, Barokah Mulya, dan Puskopol. Evaluasi dilakukan berdasarkan 13 subkriteria yang merepresentasikan dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Pemilihan indikator tersebut sejalan dengan literatur *sustainable supplier selection* yang menegaskan bahwa kinerja pemasok perlu dinilai melalui kombinasi indikator biaya, kualitas, pengiriman, layanan, reputasi, hak tenaga kerja, keselamatan kerja, sistem manajemen lingkungan, konsumsi sumber daya, dan pengelolaan limbah (Afrasiabi et al., 2022; Ince et al., 2023; Lo et al., 2025; Wang & Hung, 2025; Zhu et al., 2022). Data penilaian dikonversi ke dalam skala 1–5, dengan 1 menunjukkan kinerja sangat buruk dan 5 menunjukkan kinerja sangat baik. Penggunaan skala Likert dalam evaluasi pemasok berkelanjutan lazim digunakan untuk mengubah penilaian praktisi atau ahli menjadi nilai kuantitatif yang dapat diolah dalam model MCDM (Althaqafi, 2023; Sithi et al., 2025).

Tabel 2. Penilaian Kinerja Pemasok Berdasarkan Kriteria Keberlanjutan

Subkriteria	Barokah Jaya	Barokah Mulya	Puskopol
Hak karyawan	4	3	3
Kesehatan dan Keselamatan Kerja	4	4	4
Konsumsi sumber daya	4	4	4
Biaya produk	3	4	3
Biaya transportasi	4	4	3
Kualitas produk	5	4	4
Efisiensi pelayanan dalam penjadwalan	5	4	2
Reputasi	5	5	3
Customer issues	5	4	3
Sertifikasi ramah lingkungan	3	3	3
Sistem manajemen lingkungan	3	4	3
Waste management	4	3	4
Menjalin hubungan dengan supplier	4	3	2

Berdasarkan Tabel 2, Barokah Jaya menunjukkan kinerja relatif kuat pada kualitas produk, efisiensi pelayanan dalam penjadwalan, reputasi, *customer issues*, dan hubungan dengan supplier. Indikator-indikator tersebut penting karena kualitas, ketepatan pengiriman, reputasi, dan hubungan

kolaboratif sering menjadi faktor dominan dalam pemeringkatan pemasok berkelanjutan dan resilien (Govindan et al., 2023; Masudin et al., 2024; Tavakoli et al., 2023). Barokah Mulya menunjukkan kinerja stabil pada biaya produk, biaya transportasi, K3, reputasi, dan sistem manajemen lingkungan. Sementara itu, Puskopol memperoleh nilai yang relatif lebih rendah pada efisiensi pelayanan dalam penjadwalan, reputasi, *customer issues*, dan hubungan dengan *supplier*, meskipun masih menunjukkan kinerja baik pada K3, konsumsi sumber daya, kualitas produk, dan *waste management*.

3.2 Hasil Perhitungan DEA

Perhitungan DEA dilakukan berdasarkan matriks keputusan pada Tabel 2 dengan mengacu pada klasifikasi *input* dan *output* pada Tabel 1. Setiap pemasok pasir diperlakukan sebagai *Decision Making Unit* atau DMU, yaitu Barokah Jaya sebagai DMU1, Barokah Mulya sebagai DMU2, dan Puskopol sebagai DMU3. Subkriteria yang diklasifikasikan sebagai *input* digunakan sebagai faktor yang perlu dikendalikan atau diminimalkan, sedangkan subkriteria *output* digunakan sebagai capaian kinerja yang perlu dimaksimalkan. Dengan demikian, nilai efisiensi tidak diperoleh melalui penjumlahan skor secara langsung, tetapi melalui penyelesaian model optimasi DEA yang membandingkan rasio tertimbang antara *output* dan *input* setiap pemasok.

Secara operasional, model DEA pada Persamaan (1)–(4) diselesaikan secara terpisah untuk setiap DMU. Pada setiap proses perhitungan, DMU yang sedang dievaluasi diberi kesempatan untuk menentukan bobot *input* (v_i) dan bobot *output* (u_r) yang menghasilkan nilai efisiensi maksimum bagi DMU tersebut. Namun, bobot tersebut tetap dibatasi oleh kendala bahwa nilai efisiensi seluruh DMU pembanding tidak boleh melebihi 1. Oleh karena itu, nilai efisiensi DEA menunjukkan posisi relatif setiap pemasok terhadap frontier efisiensi yang dibentuk dari seluruh pemasok yang dievaluasi.

Hasil penyelesaian model DEA menunjukkan bahwa ketiga pemasok memperoleh nilai efisiensi relatif sebesar 1,000. Barokah Jaya memperoleh nilai Teta (θ_j^*) sebesar 1,000, Barokah Mulya memperoleh nilai Teta (θ_j^*) sebesar 1,000, dan Puskopol juga memperoleh nilai Teta (θ_j^*) sebesar 1,000. Nilai ini menunjukkan bahwa ketiga pemasok berada pada frontier efisiensi relatif berdasarkan kombinasi input dan output yang digunakan dalam penelitian. Artinya, dalam himpunan pemasok yang dianalisis, tidak terdapat pemasok lain yang secara relatif mampu menghasilkan output keberlanjutan lebih tinggi dengan penggunaan input yang lebih rendah dibandingkan DMU yang sedang dievaluasi.

Tabel 3. Hasil Operasional Perhitungan Efisiensi DEA

DMU	Pemasok	Dasar Perhitungan	Nilai Teta (θ_j^*)	Status
DMU1	Barokah Jaya	Penyelesaian model DEA Persamaan (1)–(4)	1,000	Efisien
DMU2	Barokah Mulya	Penyelesaian model DEA Persamaan (1)–(4)	1,000	Efisien
DMU3	Puskopol	Penyelesaian model DEA Persamaan (1)–(4)	1,000	Efisien

Meskipun seluruh pemasok memperoleh nilai efisiensi DEA sebesar 1,000, hasil tersebut tidak berarti bahwa seluruh pemasok memiliki kinerja yang identik pada setiap subkriteria. DEA mengukur efisiensi relatif berdasarkan kombinasi bobot optimal masing-masing DMU. Kondisi seluruh DMU efisien juga dapat dipengaruhi oleh jumlah pemasok yang relatif sedikit dibandingkan jumlah subkriteria evaluasi. Penelitian ini mengevaluasi tiga DMU dengan 13 subkriteria, sehingga ruang pembobotan dalam model DEA relatif luas dan memungkinkan seluruh pemasok berada pada frontier efisiensi. Oleh karena itu, hasil DEA perlu dilanjutkan dengan TOPSIS untuk membedakan prioritas akhir pemasok berdasarkan kedekatan terhadap kondisi ideal dan anti-ideal.

3.3 Hasil Integrasi DEA–TOPSIS

Setelah nilai efisiensi relatif setiap pemasok diperoleh, tahap berikutnya adalah melakukan integrasi DEA–TOPSIS. Tahap ini diawali dengan pembentukan *Ideal Decision Making Unit* (*IDMU*) dan *Anti-Ideal Decision Making Unit* (*ADMU*). Kedua DMU hipotetis tersebut dibentuk dari data pada Tabel 2 dengan mempertimbangkan klasifikasi input dan output pada Tabel 1. *IDMU* dibentuk dari kombinasi nilai terbaik, yaitu nilai minimum untuk setiap subkriteria *input* dan nilai maksimum untuk setiap subkriteria *output*. Sebaliknya, *ADMU* dibentuk dari kombinasi nilai terburuk, yaitu nilai maksimum untuk setiap subkriteria *input* dan nilai minimum untuk setiap subkriteria *output*.

Secara operasional, pembentukan *IDMU* dilakukan dengan menelusuri nilai setiap subkriteria pada seluruh pemasok. Untuk subkriteria *input*, nilai terkecil dipilih karena mencerminkan penggunaan sumber daya atau biaya yang paling rendah. Untuk subkriteria *output*, nilai terbesar dipilih karena mencerminkan capaian kinerja terbaik. Kombinasi nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam model DEA sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (5)–(6). Hasil penyelesaian model menghasilkan nilai *IDMU** sebesar 2,548. Nilai ini digunakan sebagai acuan kondisi ideal karena merepresentasikan kombinasi *input* paling rendah dan *output* paling tinggi berdasarkan data pemasok yang dievaluasi.

Pembentukan *ADMU* dilakukan dengan prosedur sebaliknya. Untuk subkriteria *input*, nilai terbesar dipilih karena mencerminkan penggunaan *input* yang paling tidak diharapkan. Untuk subkriteria *output*, nilai terkecil dipilih karena mencerminkan capaian kinerja terendah. Kombinasi nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam model *anti-ideal* sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (7)–(8). Hasil penyelesaian model menghasilkan nilai *ADMU** sebesar 0,017. Nilai ini digunakan sebagai acuan kondisi *anti-ideal* karena merepresentasikan kombinasi *input* tertinggi dan *output* terendah dari seluruh pemasok.

Tabel 4. Operasional Perolehan Nilai IDMU* dan ADMU*

Komponen	Dasar Pembentukan dari Tabel 2	Persamaan Acuan	Nilai Hasil
(*IDMU**)	Input minimum dan output maksimum dari seluruh pemasok	Persamaan (5)–(6)	2,548
(*ADMU**)	Input maksimum dan output minimum dari seluruh pemasok	Persamaan (7)–(8)	0,017

Setelah nilai *IDMU** dan *ADMU** diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung nilai Gama (φ_j^*) untuk masing-masing pemasok. Nilai Gama diperoleh dengan membandingkan kinerja setiap DMU terhadap kondisi anti-ideal. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Barokah Jaya memperoleh nilai Gama sebesar 1,024, Barokah Mulya sebesar 1,022, dan Puskopol sebesar 1,018. Nilai Gama tersebut kemudian digunakan bersama nilai Teta (θ_j^*), *IDMU** dan *ADMU** untuk menghitung indeks kedekatan relatif TOPSIS berdasarkan Persamaan (9)–(12).

Tabel 5. Hasil Integrasi DEA–TOPSIS

Pemasok	Teta (θ_j^*)	Gama (φ_j^*)	(*IDMU**)	(*ADMU**)	Nilai Akhir	Ranking
Barokah Jaya	1,000	1,024	2,548	0,017	0,993	1
Barokah Mulya	1,000	1,022	2,548	0,017	0,991	2
Puskopol	1,000	1,018	2,548	0,017	0,987	3

Berdasarkan Tabel 5, meskipun seluruh pemasok memiliki nilai efisiensi DEA yang sama, nilai Gama dan nilai akhir kedekatan relatif menunjukkan perbedaan antar pemasok. Perbedaan ini menunjukkan bahwa integrasi TOPSIS mampu memberikan diskriminasi lanjutan terhadap pemasok yang sama-sama efisien menurut DEA. Barokah Jaya memperoleh nilai akhir tertinggi sebesar 0,993 karena memiliki kedekatan paling tinggi terhadap kondisi ideal dibandingkan pemasok lainnya. Barokah Mulya menempati posisi kedua dengan nilai 0,991, sedangkan Puskopol berada pada posisi ketiga dengan nilai 0,987. Dengan demikian, hasil integrasi DEA–TOPSIS tidak hanya menunjukkan status efisiensi relatif, tetapi juga memberikan dasar pemeringkatan pemasok secara lebih operasional dan terukur.

3.5 Temuan Utama Berdasarkan Kriteria

Temuan utama menunjukkan bahwa keunggulan Barokah Jaya terutama ditopang oleh kualitas produk, efisiensi pelayanan dalam penjadwalan, reputasi, *customer issues*, dan hubungan dengan supplier. Dalam konteks industri beton, kualitas pasir dan ketepatan penjadwalan menjadi indikator penting karena berpengaruh terhadap kelancaran produksi, stabilitas mutu beton, dan pemenuhan permintaan pelanggan. Literatur menunjukkan bahwa biaya produk, biaya transportasi, kualitas, dan ketepatan pengiriman sering menjadi subkriteria ekonomi yang sangat menentukan prioritas pemasok dalam pengadaan material konstruksi (Hou et al., 2022; Masudin et al., 2024; Zulaihan & Siswanto, 2025). Barokah Mulya tetap menjadi pemasok yang kompetitif karena nilai akhirnya sangat dekat dengan Barokah Jaya. Kinerja stabil pada biaya, reputasi, K3, dan sistem manajemen lingkungan

menunjukkan bahwa pemasok ini masih layak dipertahankan dalam portofolio pemasok perusahaan. Puskopol memerlukan perhatian lebih pada efisiensi penjadwalan, hubungan dengan supplier, reputasi, dan *customer issues*. Di sisi lain, kinerjanya pada K3, konsumsi sumber daya, kualitas produk, dan *waste management* menunjukkan adanya aspek yang tetap mendukung keberlanjutan. Dengan demikian, hasil evaluasi DEA–TOPSIS tidak hanya menghasilkan peringkat pemasok, tetapi juga mengidentifikasi area perbaikan yang dapat digunakan perusahaan dalam program pembinaan pemasok dan pengambilan keputusan pengadaan.

4. Pembahasan

4.1 Interpretasi Efisiensi DEA

Hasil DEA menunjukkan bahwa Barokah Jaya, Barokah Mulya, dan Puskopol memperoleh nilai *Teta* sebesar 1, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3. Temuan ini mengindikasikan bahwa ketiga pemasok berada pada frontier efisiensi relatif berdasarkan kombinasi input dan output keberlanjutan yang digunakan. Dalam konteks DEA, skor efisiensi 1 menunjukkan bahwa suatu *decision-making unit* relatif efisien dibandingkan unit lain dalam himpunan pembanding, tetapi tidak selalu berarti bahwa seluruh unit memiliki kualitas kinerja absolut yang sama (Čiković et al., 2022; Nguyen et al., 2022). Oleh karena itu, hasil DEA perlu ditafsirkan sebagai indikasi efisiensi relatif, bukan sebagai bukti bahwa ketiga pemasok memiliki performa operasional dan keberlanjutan yang identik.

Kondisi seluruh pemasok memperoleh skor efisiensi 1 juga dapat dijelaskan oleh keterbatasan rasio antara jumlah DMU dan jumlah kriteria. Penelitian ini hanya mengevaluasi tiga pemasok dengan 13 subkriteria, sehingga model DEA memiliki ruang pembobotan yang relatif luas untuk menjadikan setiap DMU tampak efisien. Literatur menyatakan bahwa jumlah DMU yang kecil dibandingkan jumlah variabel dapat menurunkan daya diskriminasi DEA, menyebabkan banyak unit berada pada frontier, dan membatasi kemampuan model dalam membedakan kinerja alternatif (Čiković et al., 2022; Dang et al., 2022; Dobos & Vörösmarty, 2023a). Dengan demikian, integrasi TOPSIS menjadi relevan karena mampu memberikan pemeringkatan lanjutan berdasarkan kedekatan terhadap profil ideal keberlanjutan.

4.2 Interpretasi Hasil DEA–TOPSIS dan Peringkat Pemasok

Integrasi DEA–TOPSIS menghasilkan peringkat yang lebih diskriminatif dibandingkan DEA tunggal. Barokah Jaya memperoleh nilai akhir tertinggi sebesar 0,993, diikuti Barokah Mulya sebesar 0,991 dan Puskopol sebesar 0,987. Dalam model hibrida seperti DEA–TOPSIS, DEA berfungsi sebagai tahap identifikasi efisiensi, sedangkan TOPSIS membedakan pemasok berdasarkan kedekatan terhadap solusi *ideal* dan jaraknya dari solusi *anti-ideal* (Karakoç et al., 2023; Peng et al., 2021). Dengan demikian, hasil ini memberikan sinyal dua tahap bagi pengadaan: semua pemasok relatif efisien, tetapi Barokah Jaya memiliki kombinasi kinerja yang paling dekat dengan profil pemasok ideal.

Keunggulan Barokah Jaya terutama terlihat pada Tabel 2, yaitu kualitas produk, efisiensi pelayanan dalam penjadwalan, reputasi, customer issues, dan hubungan dengan *supplier*. Indikator-indikator tersebut sangat relevan dalam industri beton karena kualitas pasir dan ketepatan pengiriman memengaruhi kontinuitas produksi, mutu beton, serta kepuasan pelanggan. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa kualitas, pengiriman, responsivitas, reputasi, dan hubungan kolaboratif merupakan faktor penting dalam pemeringkatan pemasok berkelanjutan dan resilien (Afrasiabi et al., 2022; Shao et al., 2025). Namun, selisih nilai akhir yang sangat kecil menunjukkan bahwa keunggulan Barokah Jaya bersifat relatif dan perlu dipantau secara berkala melalui evaluasi berulang.

Barokah Mulya, dengan nilai akhir 0,991, masih menunjukkan posisi yang sangat kompetitif. Pemasok ini memiliki kinerja stabil pada biaya produk, biaya transportasi, K3, reputasi, dan sistem manajemen lingkungan. Selisih yang kecil terhadap Barokah Jaya menunjukkan bahwa Barokah Mulya dapat dipertahankan sebagai pemasok strategis atau alternatif prioritas dalam sistem pasokan bergilir. Literatur menekankan bahwa pemeringkatan pemasok tidak hanya berfungsi untuk memilih satu pemasok terbaik, tetapi juga membantu perusahaan menyusun portofolio pemasok, mengalokasikan kontrak, dan merancang strategi pembinaan berdasarkan indikator yang masih lemah (Boukrouh et al., 2024; Nguyen et al., 2022).

Puskopol memperoleh nilai akhir 0,987 dan berada pada peringkat ketiga, tetapi nilai tersebut tetap mendekati 1. Oleh karena itu, Puskopol tidak dapat dikategorikan sebagai pemasok yang tidak

layak. Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa Puskopol perlu memperbaiki efisiensi pelayanan dalam penjadwalan, hubungan dengan supplier, reputasi, dan customer issues. Dalam pendekatan *supplier development*, indikator yang lemah sebaiknya digunakan sebagai dasar intervensi terarah, seperti pelatihan, peningkatan koordinasi, perbaikan sistem komunikasi, dan pemantauan kinerja berkala (Hezam et al., 2024; Mishra et al., 2022).

4.3 Implikasi Ekonomi, Sosial, dan Lingkungan

Dari aspek ekonomi, hasil penelitian menegaskan bahwa biaya produk, biaya transportasi, kualitas produk, efisiensi penjadwalan, dan hubungan dengan supplier merupakan faktor penting dalam menjaga stabilitas produksi beton. Pemasok yang murah tetapi tidak konsisten dalam kualitas atau pengiriman dapat menciptakan risiko biaya tersembunyi melalui keterlambatan produksi, penyesuaian material, atau penurunan mutu produk. Hal ini sejalan dengan pandangan bahwa pemilihan pemasok berkelanjutan perlu mengintegrasikan biaya, kualitas, dan keandalan pasokan, bukan hanya harga pembelian (Hoseini et al., 2021; Tushar et al., 2022). Aspek sosial, indikator hak karyawan, K3, reputasi, dan customer issues menunjukkan bahwa evaluasi pemasok pasir perlu memasukkan tanggung jawab sosial pemasok. Isu penggunaan APD pekerja tambang dan pengaturan jam kerja tidak dapat dipisahkan dari keberlanjutan rantai pasok karena dapat memengaruhi legitimasi, reputasi, dan kesinambungan hubungan bisnis. Literatur menegaskan bahwa integrasi dimensi sosial dalam pemilihan pemasok membantu perusahaan mengurangi risiko jangka panjang dan menyelaraskan pengadaan dengan prinsip tanggung jawab sosial perusahaan (Afrasiabi et al., 2022).

Aspek lingkungan, konsumsi sumber daya, sertifikasi ramah lingkungan, sistem manajemen lingkungan, dan waste management menjadi indikator penting karena pasokan pasir berkaitan langsung dengan aktivitas ekstraksi sumber daya alam. Praktik penambangan yang tidak terkendali dapat meningkatkan risiko lingkungan dan reputasi bagi perusahaan pembeli. Integrasi kriteria lingkungan dalam evaluasi pemasok mendukung orientasi triple bottom line, green building, dan ekonomi sirkular, meskipun memerlukan data yang lebih kompleks dan sering kali bersifat kualitatif (Angeles et al., 2023; Erdebilli & Sıcakyüz, 2024; Tushar et al., 2022).

5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh pemasok pasir PT Varia Usaha Beton, yaitu Barokah Jaya, Barokah Mulya, dan Puskopol, memperoleh nilai efisiensi DEA sebesar 1. Temuan ini mengindikasikan bahwa ketiga pemasok berada pada *frontier* efisiensi relatif berdasarkan kombinasi *input* dan *output* keberlanjutan yang digunakan. Namun, nilai efisiensi yang sama tidak menunjukkan bahwa seluruh pemasok memiliki prioritas kinerja yang identik. Integrasi TOPSIS berhasil memberikan diskriminasi lanjutan melalui nilai kedekatan relatif terhadap solusi ideal.

Hasil akhir menunjukkan bahwa Barokah Jaya menempati peringkat pertama dengan nilai 0,993, diikuti Barokah Mulya sebesar 0,991 dan Puskopol sebesar 0,987. Barokah Jaya unggul terutama pada kualitas produk, efisiensi penjadwalan, reputasi, penanganan isu pelanggan, dan hubungan dengan perusahaan. Barokah Mulya tetap kompetitif dan dapat dipertahankan sebagai pemasok strategis, sedangkan Puskopol memerlukan perbaikan pada penjadwalan, komunikasi, reputasi, dan penanganan keluhan. Studi ini berkontribusi pada pengembangan literatur evaluasi pemasok berkelanjutan dengan menunjukkan kegunaan integrasi DEA–TOPSIS pada konteks pemasok pasir industri beton. Secara praktis, hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar prioritas pemesanan, evaluasi periodik, dan program pengembangan pemasok. Penelitian lanjutan disarankan memperluas jumlah pemasok, menggunakan data historis operasional, serta mengintegrasikan metode pembobotan atau pendekatan fuzzy untuk meningkatkan ketahanan dan objektivitas hasil evaluasi.

Referensi

Afrasiabi, A., Tavana, M., & Di Caprio, D. (2022). An extended hybrid fuzzy multi-criteria decision model for sustainable and resilient supplier selection. Environmental Science and Pollution Research International, 29, 37291–37314. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17851-2

Althaqafi, T. (2023). Environmental and Social Factors in Supplier Assessment: Fuzzy-Based Green Supplier Selection. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su152115643

Angeles, A., Ilano, A., Ong, D., Reoyan, V., & Bucu, G. (2023). A Sustainable Supplier Selection Adapting Triple Bottom Line Framework for The Construction Industry using Multi-Criteria Decision-Making. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. https://doi.org/10.46254/an13.20230427

Bajwa, A. U. R., Siriwardana, C., Shahzad, W., & Naeem, M. (2025). Material selection in the construction industry: a systematic literature review on multi-criteria decision making. Environment Systems and Decisions, 45. https://doi.org/10.1007/s10669-025-10001-w

Bardan, M., & Czarnecki, L. (2025). Green Recycled Aggregate in Concrete: Feasibility Study. Materials, 18. https://doi.org/10.3390/ma18030488

Bhuiyan, M. M. A., & Hammad, A. (2023). A Hybrid Multi-Criteria Decision Support System for Selecting the Most Sustainable Structural Material for a Multistory Building Construction. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su15043128

Boukrouh, I., Tayalati, F., & Azmani, A. (2024). A Comprehensive Framework for Supplier Selection: Using Subjective, Objective, and Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Techniques With Sensitivity Analysis. IEEE Access, 12, 145550–145569. https://doi.org/10.1109/access.2024.3462348

Chen, H., & Wang, H. (2025). Research on Green Supplier Selection Method Based on Improved AHP-FMEA. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su17073018

Chen, Z., Hammad, A., Waller, S., & Haddad, A. (2023). Modelling supplier selection and material purchasing for the construction supply chain in a fuzzy scenario-based environment. Automation in Construction. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104847

Čiković, K. F., Martinčević, I., & Lozić, J. (2022). Application of Data Envelopment Analysis (DEA) in the Selection of Sustainable Suppliers: A Review and Bibliometric Analysis. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su14116672

Dang, T.-T., Nguyen, N.-A.-T., Nguyen, V., & Dang, L.-T.-H. (2022). A Two-Stage Multi-Criteria Supplier Selection Model for Sustainable Automotive Supply Chain under Uncertainty. Axioms, 11, 228. https://doi.org/10.3390/axioms11050228

De Castro E Silva, A., Seleme, R., De Assis Silva, W., Zattar, I., Nara, E., Júnior, O., & Benitez, L. (2022). Evaluation and Choice Criteria of Sustainable Suppliers in the Construction Industry: A Comparative Study in Brazilian Companies. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su142315711

Dobos, I., & Vörösmarty, G. (2023a). Green supplier selection problems with data scaling and production frontier estimations in a DEA model. Society and Economy. https://doi.org/10.1556/204.2023.00001

Dobos, I., & Vörösmarty, G. (2023b). Input and output reconsidered in supplier selection DEA model. Central European Journal of Operations Research, 1–15. https://doi.org/10.1007/s10100-023-00845-5

Erdebilli, B., & Sıcakyüz, Ç. (2024). An Integrated Q-Rung Orthopair Fuzzy (Q-ROF) for the Selection of Supply-Chain Management. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su16124901

Fallahpour, A., Nayeri, S., Sheikhalishahi, M., Wong, K., Tian, G., & Fathollahi-Fard, A. (2021). A hyper-hybrid fuzzy decision-making framework for the sustainable-resilient supplier selection problem: a case study of Malaysian Palm oil industry. Environmental Science and Pollution Research International, 1–21. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12491-y

Govindan, K., Kaul, A., Darbari, J., & Jha, P. (2023). Analysis of supplier evaluation and selection strategies for sustainable collaboration: A combined approach of best–worst method and TOmada de Decisao Interativa Multicriterio. Business Strategy and the Environment. https://doi.org/10.1002/bse.3374

Hattani, F., Menu, B., Allaoui, D., Mouflih, M., Zanzoun, H., Hannache, H., & Manoun, B. (2024). Evaluating the Impact of Material Selections, Mixing Techniques, and On-site Practices on Performance of Concrete Mixtures. Civil Engineering Journal. https://doi.org/10.28991/cej-2024-010-02-016

Hezam, I., Ali, A., Sallam, K., Hameed, I., & Abdel-Basset, M. (2024). Digital twin and fuzzy framework for supply chain sustainability risk assessment and management in supplier selection. Scientific Reports, 14. https://doi.org/10.1038/s41598-024-67226-z

Hoseini, S., Fallahpour, A., Wong, K., Mahdiyar, A., Saberi, M., & Durdyev, S. (2021). Sustainable Supplier Selection in Construction Industry through Hybrid Fuzzy-Based Approaches. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su13031413

Hou, Y., Khokhar, M., Zia, S., & Sharma, A. (2022). Assessing the Best Supplier Selection Criteria in Supply Chain Management During the COVID-19 Pandemic. Frontiers in Psychology, 12. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.804954

Ince, M. N., Taşdemir, Ç., & Gazo, R. (2023). Lean and Sustainable Supplier Selection in the Furniture Industry. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su152215891

Islam, M. M., & Arakawa, M. (2022). Integrated multi-criteria group decision-making model for supplier selection in an uncertain environment. Cogent Engineering, 9. https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2079220

Kamal, A., Azfar, R. W., Salah, B., Saleem, W., Abas, M., Khan, R., & Pruncu, C. (2021). Quantitative Analysis of Sustainable Use of Construction Materials for Supply Chain Integration and Construction Industry Performance through Structural Equation Modeling (SEM). Sustainability. https://doi.org/10.3390/su13020522

Karabayir, A., & Botsalı, A. (2021). SUPPLIER SELECTION AMONG DIFFERENT SCALE CONSTRUCTION COMPANIES USING FUZZY AHP AND FUZZY TOPSIS. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi. https://doi.org/10.31202/ecjse.933617

Karakoç, Ö., Memiş, S., & Sennaroglu, B. (2023). A Review of Sustainable Supplier Selection with Decision-Making Methods from 2018 to 2022. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su16010125

Kweh, Q. L., Ting, I. W. K., Asif, J., & Lu, W. (2024). Environmental, social, and governance and hierarchical network data envelopment analysis firm efficiencies of Japan Airlines' supply chain. Business Strategy and the Environment. https://doi.org/10.1002/bse.3861

Liu, K.-S., & Lin, M.-H. (2021). Performance Assessment on the Application of Artificial Intelligence to Sustainable Supply Chain Management in the Construction Material Industry. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su132212767

Lo, H.-W., Li, K., & Lin, S.-W. (2025). Multi-Year Performance Evaluation and Trend Tracking of Sustainable Suppliers: An Application of a Hybrid Decision Analysis Model. Journal of Intelligent Decision Making and Granular Computing. https://doi.org/10.31181/jidmgc1120256

Masudin, I., Habibah, I. Z., Wardana, R. W., Restuputri, D., Sarifah, S., & Shariff, R. (2024). Enhancing Supplier Selection for Sustainable Raw Materials: A Comprehensive Analysis Using Analytical Network Process (ANP) and TOPSIS Methods. Logistics. https://doi.org/10.3390/logistics8030074

Mishra, A., Saha, A., Rani, P., Pamucar, D., Dutta, D., & Hezam, I. (2022). Sustainable supplier selection using HF-DEA-FOCUM-MABAC technique: a case study in the Auto-making industry. Soft Computing, 26, 8821–8840. https://doi.org/10.1007/s00500-022-07192-8

Nguyen, T.-L., Nguyen, P., Pham, H., Nguyen, T.-G., Nguyen, D.-T., Tran, T.-H., Le, H., & Phung, H.-T. (2022). A Novel Integrating Data Envelopment Analysis and Spherical Fuzzy MCDM Approach for Sustainable Supplier Selection in Steel Industry. Mathematics. https://doi.org/10.3390/math10111897

Omrani, H., Shamsi, M., & Emrouznejad, A. (2022). Evaluating sustainable efficiency of decision-making units considering undesirable outputs: an application to airline using integrated multi-objective DEA-TOPSIS. Environment, Development and Sustainability, 25, 5899–5930. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02285-8

Park, S.-H., Ryu, H.-S., & Park, W.-J. (2024). Influence of Unit Water Content Control on Concrete Performance in the Ready-Mixed Concrete Production Process. Materials, 17. https://doi.org/10.3390/ma17040834

Peng, C., Feng, D., & Guo, S. (2021). Material Selection in Green Design: A Method Combining DEA and TOPSIS. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su13105497

Shao, Q., Liu, S., Lin, J., Liou, J., & Zhu, D. (2025). Green Supplier Evaluation in E-Commerce Systems: An Integrated Rough-Dombi BWM-TOPSIS Approach. Syst., 13, 731. https://doi.org/10.3390/systems13090731

Sharma, R., Kannan, D., Darbari, J., & Jha, P. (2024). Group Decision Making Model for Selection of Performance Indicators for Sustainable Supplier Evaluation in Agro-Food Supply Chain. International Journal of Production Economics. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109353

Shirkouhi, S., Tavakoli, M., Govindan, K., & Mousakhani, S. (2023). A hybrid approach using Z-number DEA model and Artificial Neural Network for Resilient supplier Selection. Expert Syst. Appl., 222, 119746. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119746

Singh, S., Singh, S., Mahgoub, M., Mir, S. A., Kanga, S., Kumar, S., Kumar, P., & Meraj, G. (2024). Evaluating Recycled Concrete Aggregate and Sand for Sustainable Construction Performance and Environmental Benefits. CivilEng. https://doi.org/10.3390/civileng5020023

Sithi, S. S., Ara, Mst. A., Dhrubo, A. T., Rony, A. H., & Shabur, Md. A. (2025). Sustainable supplier selection in the textile industry using triple bottom line and SWARA-TOPSIS approaches. Discover Sustainability, 6. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01206-9

T., N., & S., K. (2023). Investigation study data to develop sustainable concrete mix using waste materials as constituents. Data in Brief, 52. https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109837

Tavakoli, M., Tajally, A., Ghanavati-Nejad, M., & Jolai, F. (2023). A Markovian-based fuzzy decision-making approach for the customer-based sustainable-resilient supplier selection problem. Soft Computing, 1–32. https://doi.org/10.1007/s00500-023-08380-w

Tronnebati, I., Yadari, M. El, & Jawab, F. (2022). A Review of Green Supplier Evaluation and Selection Issues Using MCDM, MP and AI Models. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su142416714

Tushar, Z. N., Bari, A., & Khan, M. (2022). Circular Supplier Selection in the Construction Industry: A Sustainability Perspective for the Emerging Economies. Sustainable Manufacturing and Service Economics. https://doi.org/10.1016/j.smse.2022.100005

Wang, W.-P., & Hung, Y.-H. (2025). Dual Evaluation Indicators for Sustainable Suppliers. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su17072816

Wibowo, F. X. R. S., & Pramesti, N. (2026). A Systematic Literature Review of Hybrid Multi-Criteria Decision-Making and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution Methods for Construction Material Supplier Selection. Civil and Sustainable Urban Engineering. https://doi.org/10.53623/csue.v6i1.918

Yudhistira, A., Satyarno, I., Nugroho, A., & Handayani, T. (2024). Effect of Construction Delays and the Preventive Role of Concrete Works Optimization: Systematic Literature Review. TEM Journal. https://doi.org/10.18421/tem132-34

Zhu, Q., Liu, A., Li, Z., Yang, Y., & Miao, J. (2022). Sustainable Supplier Selection and Evaluation for the Effective Supply Chain Management System. Syst., 10, 166. https://doi.org/10.3390/systems10050166

Zulaihan, A., & Siswanto, N. (2025). Modeling of Supplier Selection Strategy And Raw Material Order Allocation With Analytic Hierarchy Process Approach and Linear Programming at PT. IKSG. Eduvest - Journal of Universal Studies. https://doi.org/10.59188/eduvest.v5i4.17484