

PENGEMBANGAN MODEL PEMILIHAN *GREEN SUPPLIER* DI KAWASAN INDUSTRI CIKARANG

Filson Maratur Sidjabat¹ dan Johan Krisnanto Runtuk²

¹Environmental Engineering, ²Industrial Engineering, President University
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, Jawa Barat 17550

¹fmsidjabat@president.ac.id, ²johan.runtuk@president.ac.id

Abstract: Nowadays, innovation and improvement in the industrial and logistic sector are significantly increasing sustainability issues and awareness. The concept of green supply chain focuses on the supply chain management that aims to reduce the environmental impacts, increasing the natural and ecological efficiency. The companies that are willing to accelerate their environmental performances will enhance competitive advantage that will bring income and market share enhancement, also a more positive corporate image. From the literature study, several green supplier criteria were identified and then be selected and categorized by interviewing the experts. From those results, ten criteria been developed in the model by using MCDM (Multi Criteria Decision Making) methods, which are DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) and ANP (Analytic Network Process). There are five respondents as experts in the environmental engineering field and industrial estate management, who know best the condition in Cikarang Industrial Estate. Five top criteria that have the highest weight number are Environmental management system (EMS), PROPER assesment from KLHK Indonesia (PROPER), Pollution prevention and control (PLC), Energy management/efficiency (EM), and Green design or R&D (GD).

Keywords: Supply Chain, Cikarang Industrial Estate, DEMATEL, ANP, Green Supplier Criteria

Abstrak: Dalam perkembangan industri dan sektor logistik, terjadi kenaikan yang signifikan akan kesadaran terhadap isu *sustainability*. Konsep dari *green supply chain* mengutamakan pengelolaan rantai pasok yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan, meningkatkan efisiensi sumber daya alam dan ekologi. Perusahaan yang meningkatkan kinerja lingkungannya akan meningkatkan keunggulan bersaing yang akan membawa pada peningkatan pendapatan, pangsa pasar dan *image* korporasi yang lebih positif. Dari studi literatur diidentifikasi berbagai kriteria *green supplier* untuk diseleksi dan dikategorikan oleh para ahli melalui wawancara. Dari hasil tersebut terdapat sepuluh kriteria yang dikembangkan dalam model dengan menggunakan dua metode MCDM (*Multi Criteria Decision Making*), yaitu DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) dan ANP (*Analytic Network Process*). Terdapat lima responden yang merupakan ahli di bidang teknik lingkungan dan pengelolaan kawasan industri, dan mengenal dengan baik kondisi di kawasan industri Cikarang. Lima kriteria utama yang memiliki pembobotan tertinggi adalah *Environmental management system (EMS)*, *PROPER assesment from KLHK Indonesia (PROPER)*, *Pollution prevention and control (PLC)*, *Energy management/ efficiency (EM)*, dan *Green design or R&D (GD)*.

Kata Kunci: Supply Chain, Kawasan Industri Cikarang, DEMATEL, ANP, Kriteria Green Supplier

PENDAHULUAN

Saat ini, terjadi kenaikan yang signifikan akan kesadaran terhadap isu *sustainability*. Secara khusus, perusahaan manufaktur semakin berusaha untuk menjaga atmosfer yang bersih dan ramah lingkungan untuk mencapai penurunan biaya produksi dan juga permasalahan lingkungan (Senthilkumaran et al., 2001). Setiap kegiatan industri harus memperhatikan keseluruhan aktivitasnya agar tidak merusak lingkungan. Diperlukan suatu sistem identifikasi potensi pencemaran lingkungan dan juga penanganan terhadap permasalahan lingkungan. Hal ini

kemudian mendorong banyak perusahaan untuk menerapkan *green supply chain (GSC)*, yaitu pengelolaan *supply chain* yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi ekologi (van Hock and Erasmus, 2000).

Beberapa penelitian yang membahas mengenai dampak lingkungan telah banyak dilakukan. Sebagai contoh, Gosalbez (2011) menggunakan pendekatan *multi-objective optimization* dalam mengatasi permasalahan lingkungan. Ewertowska et al. (2016) menggunakan

pendekatan *MCDM (Multi Criteria Decision Making)* dalam menghitung efisiensi lingkungan. Lebih lanjut lagi, Ewertowska et al. (2017) mengkombinasikan metode *LCA (Life Cycle Assessment)*, *DEA (Data Envelopment Analysis)*, dan simulasi Monte Carlo dalam menghitung dampak lingkungan.

Berdasarkan beberapa literatur terdahulu di atas, dapat dilihat bahwa penelitian yang ada cenderung melihat dampak lingkungan dari proses atau aktivitas industri. Dampak lingkungan bukan hanya dipengaruhi oleh proses saja, melainkan dari input dari proses itu sendiri. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengembangan model dalam pemilihan *green supplier*. Dengan melakukan seleksi yang ketat terhadap *supplier*, maka akan memperkecil peluang adanya pencemaran lingkungan yang besar.

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan industri di Cikarang. Kawasan industri Cikarang merupakan salah satu kawasan industri terbesar di Indonesia, bahkan di Asia Tenggara. Berdasarkan pengamatan langsung dan dari beberapa media, diketahui bahwa isu pencemaran lingkungan oleh limbah pabrik merupakan isu yang paling penting. Oleh karena itu, diperlukan adanya tindakan pencegahan, yang dapat dimulai dari seleksi dari awal terhadap kesadaran akan konsep ramah lingkungan, khususnya dalam pemilihan *supplier*. Diperlukan suatu kajian yang intensif dalam mengembangkan model pemilihan *green supplier*, yang dapat dijadikan referensi bagi perusahaan-perusahaan di kawasan industri Cikarang dalam memilih *supplier*.

METODE

Metode penelitian yang ditunjukkan pada **Gambar 1** Penelitian ini dimulai dengan melakukan kajian literatur yang intensif terhadap topik-topik *sustainability*, *green supply chain*, dan pada akhirnya *green supplier*. Tahap berikutnya adalah

melakukan kajian dalam menseleksi kriteria yang akan dikembangkan menjadi model pemilihan *green supplier* di kawasan industri Cikarang.



Gambar 1. Metode Penelitian

Dalam mengembangkan model, dilakukan wawancara terhadap para ahli yang berkecimpung lama dalam industri dan lingkungan. Pada penelitian awal ini, para ahli dikhususkan dari akademisi terlebih dahulu. Para ahli akan diminta untuk memberikan pendapatnya mengenai kriteria yang telah didapatkan dari hasil kajian literatur. Setelah mendapatkan konfirmasi dari para ahli, maka akan dilanjutkan dengan penyebaran kuesioner untuk merancang model pemilihan *green supplier* untuk kawasan industri Cikarang. Model akan dikembangkan melalui dua metode, yaitu metode DEMATEL dan metode ANP.

Langkah-langkah yang dalam metode DEMATEL dijelaskan sebagai berikut (Tzeng et al., 2007):

A. Dapatkan *expert's opinion* dan hitung rata-rata matriks Z

Pada langkah ini, akan melibatkan sejumlah m *expert* dan n faktor. Setiap *expert* akan diminta pendapatnya terhadap pengaruh antara dua faktor berdasarkan perbandingan berpasangan. Derajat pengaruh faktor i terhadap faktor j dinotasikan sebagai x_{ij} . Skor berkisar antara nilai 0 (tidak ada pengaruh), 1 (pengaruh kecil), 2 (pengaruh medium), 3

(pengaruh besar), dan 4 (pengaruh sangat besar). Untuk setiap *expert*, sebuah matriks *non-negative* dibuat sebagai $X^k = [X_{ij}^k]$, dimana k adalah jumlah *expert* yang berpartisipasi dalam evaluasi faktor, dengan $1 \leq k \leq m$. Jadi dengan sejumlah m *expert*, akan dibuat matriks $X^1, X^2, X^3, \dots$, dan X^m .

Untuk mengagregasi semua penilaian dari m *expert*, matrik rata-rata $Z = [Z_{ij}]$ dihitung dengan rumus:

$$Z_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{ij}^k. \quad (1)$$

B. Hitung the normalized initial direct-relation matriks D

The normalized initial direct-relation matriks $D = [d_{ij}]$, dimana nilai setiap elemen di matriks D berkisar antara $[0,1]$. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$D = \lambda * Z \quad (2)$$

atau

$$[d_{ij}]_{n \times n} = \lambda [Z_{ij}]_{n \times n}, \quad (3)$$

dimana

$$\lambda = \min \left[\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n [Z_{ij}]}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n [Z_{ij}]} \right] \quad (4)$$

Berdasarkan teori *Markov Chain*, D^m adalah pangkat dari matriks D , contoh $D^2, D^3, \dots, D^\infty$ yang pasti akan menghasilkan solusi konvergen pada inversi matriks, sebagai yang yang ditunjukkan pada persamaan

$$\lim_{m \rightarrow \infty} D^m = [0]_{n \times n}. \quad (5)$$

C. Hitung the total relation matrix T

Matriks T menunjukkan total hubungan dari setiap pasangan dari faktor, yang didapatkan dari:

$$T = \lim_{m \rightarrow \infty} (D + D^2 + \dots + D^m) = \sum_{m=1}^{\infty} D^m, \quad (6)$$

dimana

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^{\infty} D^m &= D^1 + D^2 + \dots + D^m = \\ D(I + D^1 + D^2 + \dots + D^{m-1}) &= D(I - D)^{-1} \\ T &= D(I - D)^{-1} \end{aligned} \quad (7)$$

dimana I adalah suatu matriks identitas $n \times n$.

D. Hitung jumlah semua baris dan jumlah semua kolom matriks T

Pada matriks T , jumlah semua baris dan jumlah semua kolom, masing-masing dinyatakan dengan vektor r dan vektor c , dimana:

$$r = [r_i]_{n \times 1} = \left(\sum_{j=1}^n t_{ij} \right)_{n \times 1}, \quad (8)$$

dan

$$c = [c_j]_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n}, \quad (9)$$

dimana $[c_i]'$ merupakan matriks transposisi. Nilai r_i mengindikasikan total pengaruh yang diberikan, baik langsung maupun tidak langsung, dari faktor i terhadap faktor lainnya. Nilai c_j mengindikasikan total pengaruh yang diterima, baik langsung maupun tidak langsung, yang dimiliki semua faktor lain terhadap faktor j . Jika $j = i$, nilai $(r_i + c_i)$ menyatakan pengaruh total, baik yang diberikan maupun yang diterima oleh faktor i . Sebaliknya, nilai $(r_i - c_i)$ menunjukkan kontribusi bersih dari faktor i terhadap sistem. Lebih lanjut lagi, jika $(r_i - c_i)$ bernilai positif, maka faktor i adalah penyebab bersih. jika $(r_i - c_i)$ bernilai negatif, maka faktor i adalah penerima bersih.

E. Tentukan nilai threshold (α)

Nilai *threshold* (α) dihitung dari rata-rata elemen di matriks T dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}]}{N} \quad (10)$$

F. Buatlah diagram cause and effect relationship

Diagram *cause and effect relationship* dibangun dengan memetakan semua kumpulan koordinat $(r_i + c_i, r_i - c_i)$ untuk memvisualisasikan hubungan kompleks dan menyediakan informasi untuk menentukan faktor mana yang paling penting dan bagaimana pengaruhnya ke faktor-faktor lain. Faktor dengan nilai t_{ij} yang lebih besar dari α adalah yang terpilih untuk ditunjukkan pada diagram *cause and effect relationship*.

Metode ANP merupakan suatu perkembangan dari Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Metode ini membantu penyelesaian masalah yang tidak pasti dan kompleks, khususnya terkait ketergantungan hubungan antar elemennya. Saaty (1999) menjelaskan bahwa metode ANP mampu mengakomodasi adanya keterkaitan antar elemen, yaitu keterkaitan di dalam satu set elemen (*inner dependence*) dan keterkaitan antara elemen yang berbeda (*outer dependence*). Adanya *inner dependence* dan *outer dependence* antar elemen pada metode ANP akan menghasilkan suatu hasil yang lebih baik, yang akan digunakan dalam pengambilan keputusan.

Langkah-langkah dalam metode ANP adalah sebagai berikut:

- A. Buatlah suatu hierarki jaringan keputusan yang menunjukkan hubungan antar faktor keputusan.
- B. Buatlah perbandingan berpasangan di antara faktor yang mempengaruhi keputusan.
- C. Hitunglah *relative importance weight vectors* dari faktor-faktor tersebut.
- D. Buatlah suatu supermatriks, yaitu suatu matriks yang tersusun dari *relative importance weight vectors*. Setelah itu, normalisasikan supermatriks tersebut sehingga angka-angka di dalam tiap-tiap kolom pada supermatriks memiliki jumlah bernilai 1 (satu).
- E. Hitunglah bobot akhir dengan meningkatkan supermatriks dengan $2k+1$ dimana k merupakan sembarang angka yang besar sampai stabilitas bobot terjadi, dimana nilai-nilai dalam supermatriks tidak berubah ketika dikalikan dengan dirinya sendiri, yang disebut sebagai konvergen.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Gambaran Kawasan Industri Cikarang dan Sekitarnya

Kota Cikarang berada di Kabupaten Bekasi yang berlokasi 34 km sebelah timur

Jakarta. Kota Cikarang dikenal sebagai kota industri terbesar di Asia Tenggara yang membuka peluang bagi investor untuk menanamkan modal di sana. Saat ini, Kawasan Industri di Kota Cikarang telah menjadi salah satu pusat industri nasional yang nilai eksportnya tinggi dengan sekitar 2.125 unit pabrik dari 25 negara investor berlokasi di kawasan tersebut. Kawasan Industri ini mampu menyumbang sebesar 34,46% Penanaman Modal Asing Nasional, serta 22-45% volume ekspor nasional.

Tercatat sepuluh kawasan industri sudah berada di Bekasi, Jawa Barat (tujuh diantaranya di Kota Cikarang), antara lain Jababeka Industrial Estate, MM2100 Industrial Town BFIE, MM2100 Industrial Town MMID, EJIP (East Jakarta Industrial Park), BIIE (Bekasi International Industrial Estate), Lippo Cikarang Industrial Park, Kawasan Industri Terpadu Indonesia China, Greenland International Industrial Center (GIIC), Kawasan Industri Gobel, Kawasan Industri Marunda Center. (<http://www.kemenperin.go.id/kawasan>).

Berdasarkan data dari BPKM RI (Badan Koordinasi Penanaman Modal Republik Indonesia), dapat dilihat pertumbuhan investasi di bidang Industri. Sektor kegiatan sekunder yang masuk dalam kategori ini adalah industri makanan, tekstil, kulit, kertas, kimia dan farmasi, karet, plastik, mineral non logam, mesin dan elektronik, instrumen, otomotif, dan aneka industri.

Besarnya pertumbuhan investasi ini menjadi tantangan tersendiri bagi setiap industri/perusahaan dalam memenuhi setiap peraturan pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia. Oleh karena itu, dibutuhkan juga rantai pasok yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan dan lingkungan, untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas pabrik/perusahaan dalam penataan aspek lingkungan di Indonesia. Beberapa jenis industri yang memiliki potensi kebutuhan akan *green supplier* di antaranya industri kimia,

pertambangan, farmasi, makanan, tekstil, logam, elektronik, mineral non logam, dan otomotif.

Pada Tahun 2014, sesuai dengan data HKI (Himpunan Kawasan Industri Indonesia) tercatat ada 233 Perusahaan Pengembang Kawasan Industri, yang mengembangkan lahan seluas 81.060 hektar. Dari total Pengembang Kawasan Industri di atas, 53 perusahaan diantaranya berlokasi di sepanjang ruas jalan Tol Jakarta Cikampek, yaitu di Kabupaten Bekasi, Karawang dan Purwakarta yang mengembangkan seluas total 9.384 ha (23 perusahaan) di Bekasi, 15.718 ha (20 perusahaan) di Karawang dan 3.062 ha (10 perusahaan) di Purwakarta, atau total sebesar 28.164 ha atau sebesar 34.7% dari total pengembangan kawasan industri di seluruh Indonesia. Untuk melihat potensi rantai pasok yang berorientasi aspek lingkungan/ *green supply chain*, maka dievaluasi data Kawasan Industri Koridor Cibitung-Cikampek, yaitu mengenai Jenis Industri yang berpotensi membutuhkan *green supplier*.

Dari data jenis industri dikelompokkan ke dalam 5 kelompok industri, yaitu kimia, makanan, kosmetik, otomotif, dan perakitan. Diasumsikan kelompok industri kimia, makanan, kosmetik dan otomotif akan membutuhkan *green supplier*, sedangkan kelompok industri perakitan tidak membutuhkan. Dari 175 Perusahaan di MM2100 di Cibitung, sebesar 38% berpotensi membutuhkan *green supplier*. Dari 1.378 perusahaan/industri di Jababeka, sebesar 26% berpotensi membutuhkan *green supplier*. Dari 103 perusahaan/industri di

EJIP, sebesar 47% berpotensi membutuhkan *green supplier*. Dari 86 perusahaan/industri di KIIC, sebesar 41% berpotensi membutuhkan *green supplier*. Dari 86 perusahaan/industri di Bukit Indah dan Indotaisei, sebesar 40 % berpotensi membutuhkan *green supplier*.

Tabel 1. Rekapitulasi Potensi Green Supplier

Kawasan Industri	Jumlah Perusahaan	Potensi Green Supplier
MM2100 Cibitung	175	38%
Jababeka	1378	26%
EJIP	103	47%
KIIC	86	41%
Bukit Indah dan Indotaisei	86	40%

N.B: Data Tahun 2014, dan sesuai asumsi penelitian

Identifikasi Kriteria Green Supplier

Perhatian terhadap isu lingkungan terus berkembang. Bahkan, di negara maju, konsumen sangat peduli pada produk yang dihasilkan oleh perusahaan yang peduli dengan lingkungan. Oleh karena itu, perusahaan mengalami tekanan untuk secara proaktif mengembangkan program-program yang peduli lingkungan (Min and Galle, 2001). Salah satu yang menjadi fokus perhatian perusahaan manufaktur adalah bagaimana memilih *supplier* yang peduli isu lingkungan, yang dikenal sebagai *green supplier*. Kriteria ramah lingkungan sudah mulai dikenal di negara maju mulai tahun 1990-an (Dobos and Vörösmarty, 2014). Kriteria pemilihan *green supplier* telah banyak dikembangkan oleh beberapa peneliti. Rangkuman kriteria yang digunakan dalam memilih *green supplier* dapat dilihat pada **Tabel 2** di bawah ini.

Tabel 2. Kriteria dalam Green Supplier

No.	Penulis	Negara	Metode Penelitian	Kriteria	Hasil
1.	(Jabbour and Jabbour, 2009)	Brazil	Case study	- Reduction of chemical and toxic material substances - Quantitative analysis of environmental impact - Information database on supplier environmental performance - ISO 14001 - Has a corporate manual of environmental criteria	Ada beberapa yang belum menggunakan kriteria lingkungan

2.	(Zhu et al., 2010)	China	ANP	- Pollution controls - Pollution prevention - Environmental management system - Resource consumption - Pollution production	Environmental management system memiliki bobot terbesar
3.	(Lee et al., 2011)	Taiwan	FAHP	- Pollution control - Green image - Environment-related certificates - Environmental purchasing managing systems - Environment practices	kriteria lingkungan memiliki bobot terbesar dibandingkan kriteria lain
4.	(Bali et al., 2013)	Numerical example	IFS dan GRA	- Service quality - Green image - Use of green materials - Pollution/waste control in production - Distribution - Reverse logistics - Green design or R&D	-
5.	(Dobos and Vörösmarty, 2014)	Numerical example	DEA	- Reusability (%) - CO₂ emission (g)	-
6.	(Kannan et al., 2014)	Brazil	Fuzzy TOPSIS	- Commitment of senior management to GSCM - Product designs that reduce, reuse, recycle, or reclaim materials, components, or energy - Compliance with legal environmental requirements and auditing programs - Product designs that avoid or reduce toxic or hazardous material use - Sale of used equipment (after buying new equipment) - Sale of scrap and used materials)	Yang dominan: Commitment of senior management to GSCM; Product designs that reduce, reuse, recycle, or reclaim materials, components, or energy; Compliance with legal environmental requirements and auditing programs; and Product designs that avoid or reduce toxic or hazardous material use
7.	(Freeman and Chen, 2015)	China	AHP, Entropy, TOPSIS	- Green material selection - Green image - Cleaner production technologies - Reduced green packaging - Use of toxic/restricted substances - Waste management - Remanufacturing/reuse activity - ISO-14001 certification	-
8.	(Galankashi et al., 2015)	Malaysia	Fuzzy ANP	- Use of green materials - Waste Level - Energy Efficiency - Green Design Capability	Kriteria lain, seperti price dan quality masih lebih penting
9.	(Hashemi et al., 2015)	Iran	ANP, IGRA	- Pollution production - Pollution control - Resource consumption - Eco-design - Environmental management system - Green image - Green competencies - Green product - Staff environmental training - Management commitment	Environmental management system seperti ISO 14000 menjadi penyangkal pertama untuk memastikan adanya kriteria “green” dalam seleksi supplier. Kriteria yang penting yaitu pollution production, management commitment, dan resource consumption
10.	(Awasthi and Kannan, 2016)	India	Fuzzy, NGT, VIKOR	- Energy usage - Emissions - Noise - Green packaging - Green product design - Green transportation - Green warehousing - Green procurement	Hal penting bagi green supplier development adalah adanya sertifikat ISO 14000, employee development with environmental expertise, dan supplier training

				- Reverse logistics	
11.	(Sahu et al., 2016)	-	FMLMC DM, Fuzzy-TOPSIS	- Management competencies - Green image - Design for environment - Environmental management systems - Environmental competencies	-
12.	(Hamdan and Cheaitou, 2017)	Arab	Fuzzy TOPSIS, AHP, Multi-objective ILP	- Product-related - Use of toxic substances - Use of resources - Environmental labeling - Recycled packaging - Green technology - Organization-related - Certification of environmental management system - Environmental policy - Compliance to regulation - Evaluation of second tier suppliers - Staff training to increase awareness about environmental issues - Green market share	-
13.	(Vijayvargy et al., 2017)	India	Statistical inferences	- Internal environmental management - Green purchasing - Investment recovery - Customer environmental collaboration - Eco-design	Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa usaha skala kecil masih belum terlalu menerapkan GSCM. Fokus dari perusahaan adalah membuat <i>environmental management system</i> , khususnya sertifikasi ISO 14001
14.	(Yazdani et al., 2017)	Iran	QFD, DEMATEL, COPRAS	- Internal environmental management - Environmental management systems - Waste disposal program - Reverse logistics - Energy and natural resource consumption - Green design; Re-use and Recycle rate	Yang paling berpengaruh adalah kriteria umum dan <i>environmental management systems</i>
15.	(Demir et al., 2018)	Turkey	VIKORS ORT	- Recycling program - Environment-friendly materials - Proper disposal of waste - Energy management - Waste recycling - Social responsibility projects - Environment-friendly product distribution - Emission measurement - Environment-conscious production - Training programs on environmental issues	Yang tertinggi adalah kriteria <i>recycling program</i> , <i>waste recycling</i> , <i>environment-conscious production</i> , <i>training programs on environmental issues</i> , dan <i>energy management</i>

Seleksi Kriteria *Green Supplier* untuk Kawasan Industri Cikarang

Berdasarkan hasil kajian literatur di atas, didapatkan setidaknya ada 15 kriteria penting dalam menilai *green supplier*. Setelah mendapatkan kriteria tersebut, maka dilakukan penyaringan kriteria-kriteria penting dan sesuai dengan kondisi di kawasan industri Cikarang. Berdasarkan

hasil kajian terhadap 15 kriteria dan didukung dengan hasil wawancara terhadap para ahli, diperoleh 10 kriteria yang sesuai untuk kawasan industri Cikarang. Adapun kriteria dan penjelasannya dapat dijelaskan pada **Tabel 3** sebagai berikut:

Tabel 3. Pembobotan Kriteria *Green Supplier*

No.	Kriteria	Definisi
1.	<i>Pollution prevention and control</i> (PLC)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> memiliki mekanisme pencegahan dan pengendalian terkait polusi udara, limbah cair, limbah padat, dan limbah kimia.
2.	<i>Environmental management system</i> (EMS)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> memiliki kebijakan terkait lingkungan, termasuk praktiknya terhadap pelanggan dan organisasi eksternal.
3.	<i>Green image</i> (GI)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> menjalankan dan menekankan pentingnya tanggung jawab sosial dan lingkungan. Selain itu, <i>supplier</i> juga mempromosikan produk dan layanannya dengan penekanan pada isu <i>sustainability</i> .
4.	<i>Environmental purchasing managing systems</i> (EPMS)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> menerapkan keputusan pembelian yang didasarkan pada prinsip lingkungan. Dengan kata lain, apakah <i>supplier</i> menerapkan kriteria lingkungan ke dalam pemilihan produk atau jasa yang ingin dibeli.
5.	<i>Green product labeling</i> (GPL)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> memiliki label “green” di produk yang dijual. Label ini menandakan usaha <i>supplier</i> dalam menciptakan produk yang dapat di daur ulang, dibungkus dengan material ramah lingkungan, dan menggunakan energi yang sedikit/efisien.
6.	<i>Green design or R&D</i> (GD)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> mengembangkan <i>green design</i> yang baru.
7.	<i>Energy management/efficiency</i> (EM)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> memiliki praktik dan upaya dalam mengoptimalkan penggunaan energi.
8.	<i>Environment-related certificates</i> (ERC)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> memiliki sertifikat-sertifikat terkait lingkungan.
9.	<i>Reverse logistics</i> (RL)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> memiliki jaringan <i>reverse logistic</i> yang fokus pada pengembalian produk dan material untuk didaur ulang.
10.	<i>PROPER assesment from KLHK Indonesia</i> (PROPER)	Kriteria ini digunakan untuk menilai apakah <i>supplier</i> mengikuti Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan (PROPER) dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

Pengembangan Model Pemilihan *Green Supplier*

Pada tahap ini maka akan dilakukan penyebaran kuesioner untuk mengembangkan model pemilihan *green supplier* di kawasan industri Cikarang. Terdapat dua jenis kuesioner yang harus diisi oleh para ahli. Kuesioner pertama bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh antar kriteria. Hasil dari kuesioner pertama akan diolah menggunakan metode DEMATEL. Hasil akhirnya berupa gambar relasi antar kriteria yang menjadi dasar untuk perhitungan metode ANP. Kuesioner kedua bertujuan untuk mengetahui tingkat kepentingan relatif dari setiap kriteria.

Hasil dari kuesioner kedua nanti akan diolah untuk didapatkan ranking dari setiap kriteria pemilihan *green supplier* di kawasan industri Cikarang.

Penentuan Hubungan *Causal Kriteria* Menggunakan Metode DEMATEL

Pada penelitian ini diperoleh lima ahli dari akademisi yang mengisi kuesioner pertama untuk mengetahui pengaruh dari kriteria satu ke kriteria lainnya.

Langkah pertama pada analisis DEMATEL adalah membuat matrik Z, yaitu matrik rata-rata jawaban dari responden, sebagaimana yang ditunjukkan pada persamaan (1).

Tabel 4. Matrik Z rata-rata jawaban responden (Langkah 1 DEMATEL)

$Z =$

0	2.833	2	1.833	2.5	2.667	2.833	2.5	2.167	3
3	0	2.833	3	2.667	2.5	3	2.667	2.333	3.167
1.833	2.333	0	2.833	2.833	2.167	1.333	1.833	2.167	2.167
1.5	2.333	1.5	0	1.667	2.5	1.667	1.5	1.833	2.333
2.333	2.5	2.667	2.5	0	2.5	2.167	2.333	1.833	2.5
2.167	1.667	2.667	2.167	2.167	0	2.167	2.5	1.833	2.167
2.333	2.167	1.667	1.833	1.667	1.667	0	1.5	1.333	2.167
1.833	2.333	2.667	2.167	2	1.833	2	0	1.5	2.667
1.833	1.667	1.667	2	1.5	1.5	1.667	1.667	0	1.333
2.667	2.667	2.333	2.333	2	1.833	2.5	2.5	1.5	0

Selanjutnya akan dibuat *the normalized initial direct-relation* matriks *D* berdasarkan persamaan (2), (3), dan (4).

Hasil perhitungan ditunjukkan di bawah ini.

Tabel 5. The Normalized Initial Direct-Relation Matriks D (Langkah 2 DEMATEL)

$D =$

0	0.13	0.09	0.09	0.12	0.12	0.13	0.12	0.10	0.14
0.14	0	0.13	0.14	0.12	0.12	0.14	0.12	0.11	0.15
0.09	0.11	0	0.13	0.13	0.10	0.06	0.09	0.10	0.10
0.07	0.11	0.07	0	0.08	0.12	0.08	0.07	0.09	0.11
0.11	0.12	0.12	0.12	0	0.12	0.10	0.11	0.09	0.12
0.10	0.08	0.12	0.10	0.10	0	0.10	0.12	0.09	0.10
0.11	0.10	0.08	0.09	0.08	0.08	0	0.07	0.06	0.10
0.09	0.11	0.12	0.10	0.09	0.09	0.09	0.00	0.07	0.12
0.09	0.08	0.08	0.09	0.07	0.07	0.08	0.08	0	0.06
0.12	0.12	0.11	0.11	0.09	0.09	0.12	0.12	0.07	0

Setelah itu menghitung *total relation matrix T* menggunakan persamaan (5), (6),

dan (7). Hasil perhitungan ditunjukkan di bawah ini.

Tabel 6. Total Relation Matrik T (Langkah 3 DEMATEL)

$T =$

1.075	1.242	1.183	1.21	1.153	1.167	1.184	1.153	1.009	1.3
1.311	1.246	1.329	1.374	1.271	1.274	1.302	1.27	1.113	1.431
1.024	1.089	0.967	1.115	1.041	1.025	0.998	1.002	0.901	1.128
0.895	0.965	0.912	0.873	0.881	0.92	0.895	0.875	0.787	1.005
1.127	1.182	1.162	1.189	1.006	1.118	1.113	1.103	0.959	1.232
1.03	1.057	1.071	1.082	1.01	0.925	1.023	1.021	0.882	1.121
0.912	0.944	0.902	0.935	0.867	0.873	0.808	0.86	0.754	0.983
1.007	1.071	1.059	1.07	0.992	0.992	1.006	0.906	0.859	1.127
0.809	0.838	0.818	0.855	0.779	0.786	0.797	0.785	0.625	0.86
1.1	1.148	1.109	1.14	1.053	1.054	1.087	1.07	0.912	1.086

Total penjumlahan baris dan kolom dihitung dengan menggunakan persamaan

(8) dan (9). Hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 7** di bawah ini.

Tabel 7. Total pengaruh yang diberikan dan diterima setiap kriteria

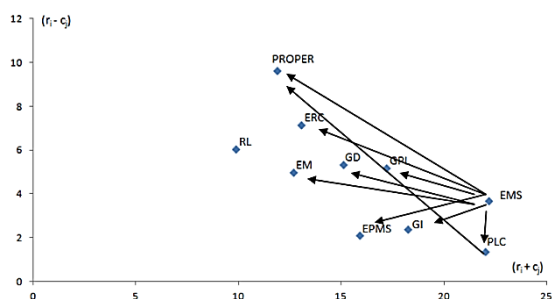
	PLC	EMS	GI	EPMS	GPL	GD	EM	ERC	RL	PROPER	r_i	c_j	$(r_i + c_j)$	$(r_i - c_j)$
PLC	1.07539	1.24166	1.18298	1.20991	1.15301	1.16712	1.18433	1.1534	1.00872	1.29965	11.6762	10.2899	21.966	1.3862
EMS	1.3109	1.24554	1.32943	1.37433	1.27092	1.27416	1.30233	1.2698	1.11317	1.43074	12.9213	9.21455	22.136	3.7068
GI	1.02425	1.08907	0.9668	1.11518	1.04146	1.02453	0.99782	1.00247	0.90138	1.1277	10.2907	7.90365	18.194	2.387
EPMS	0.89495	0.96483	0.91246	0.87312	0.88107	0.92	0.89511	0.87512	0.78683	1.00493	9.00843	6.8794	15.888	2.129
GPL	1.12662	1.18235	1.16198	1.18889	1.00586	1.11796	1.11256	1.10251	0.95855	1.23168	11.189	5.98444	17.173	5.2045
GD	1.03032	1.05742	1.07075	1.08183	1.01007	0.9254	1.02311	1.02131	0.88195	1.12078	10.2229	4.85782	15.081	5.3651
EM	0.91155	0.94374	0.90202	0.93463	0.86651	0.87301	0.80819	0.8596	0.75389	0.98285	8.836	3.8275	12.663	5.0085
ERC	1.00683	1.0707	1.05891	1.07029	0.99248	1.00572	1.00572	0.9058	0.85889	1.12747	10.0895	2.91595	13.005	7.1736
RL	0.80868	0.83776	0.81781	0.85497	0.77932	0.78558	0.79713	0.78482	0.62534	0.85969	7.95111	1.90912	9.8602	6.042
PROPER	1.10044	1.14826	1.10856	1.14046	1.05254	1.05373	1.08741	1.07028	0.9117	1.08561	10.759	1.10044	11.859	9.6586

Setelah mendapatkan tabel pengaruh di atas, maka dilakukan penentuan *threshold* berdasarkan persamaan (10). Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\alpha = 102,944/100 = 1,02944$$

Jika membandingkan nilai t_{ij} dengan α , terlihat banyak sekali t_{ij} yang bernilai yang benilai lebih dari α . Oleh karena itu, disepakati kembali dengan para ahli untuk menentukan *threshold* yang tinggi agar didapatkan kriteria dominan saja. Nilai *threshold* yang ditentukan adalah 1,25. Nilai t_{ij} pada **Tabel 7** yang bernilai lebih dari 1,25; ditandai dengan cetak tebal.

Setelah itu, dibuatlah *causal diagram* dengan memetakan koordinat kriteria ($r_i + c_j$, $r_i - c_j$). Kemudian dibuatlah diagram hubungan sesuai dengan nilai t_{ij} yang lebih dari α . *Causal diagram* dari kriteria pemilihan *green supplier* dapat dilihat pada **Gambar 2**.

**Gambar 2 Causal Diagram Kriteria**

Penentuan Bobot Tingkat Kepentingan Relatif Kriteria Menggunakan Metode ANP

Setelah mendapatkan *causal diagram* kriteria, maka akan ditentukan bobot

tingkat kepentingan relatif kriteria menggunakan metode ANP. Perhitungan bobot akan dilakukan dengan bantuan *software super decisions*. Sebelum memasukkan nilai perbandingan berpasangan, pertama harus dibuat terlebih dahulu model ANP, yang relasinya sesuai dengan hasil pada **Gambar 2**. Setelah membuat model ANP, kemudian dilakukan input data nilai *geometric mean* dari jawaban responden pada kuesioner 2. Berdasarkan hasil analisis ANP dapat disimpulkan urutan prioritas kriteria dalam model pemilihan *green supplier*, sebagai berikut:

Tabel 8. Pembobotan Kriteria Green Supplier

No.	Kriteria	Bobot
1.	Environmental management system (EMS)	0,17554
2.	PROPER assesment from KLHK Indonesia (PROPER)	0,14298
3.	Pollution prevention and control (PLC)	0,14110
4.	Energy management/efficiency (EM)	0,10950
5.	Green design or R&D (GD)	0,08885
6.	Environmental purchasing managing systems (EPMS)	0,08753
7.	Reverse logistics (RL)	0,07436
8.	Environment-related certificates (ERC)	0,07183
9.	Green image (GI)	0,05902
10.	Green product labeling (GPL)	0,04929

KESIMPULAN

Terdapat sepuluh kriteria yang dapat diterapkan untuk pemilihan *green supplier* di kawasan industri Cikarang. Kriteria tersebut mencakup unsur material, produk, hingga sistem manajemen lingkungan secara keseluruhan. Prioritas kriteria *green supplier* di kawasan industri Cikarang

adalah: *Environmental management system (EMS)*, *PROPER assesment from KLHK Indonesia (PROPER)*, dan *Pollution prevention and control (PLC)*, *Energy management/ efficiency (EM)*, dan *Green design or R&D (GD)*, secara berurutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Riset dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Presiden yang telah mendanai penelitian ini sebagai bagian dari Hibah Internal LRPM 2018. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada setiap narasumber ahli yang mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Awasthi, A., Kannan, G., 2016. Green supplier development program selection using NGT and VIKOR under fuzzy environment. *Comput. Ind. Eng.* 91, 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.11.011>.
- Bai, C., & Sarkis, J. (2010). “Green supplier development: Analytical evaluation using rough set theory.” *Journal of Cleaner Production*, 18(12), 1200–1210.
- Bali, O., Kose, E., Gumus, S., 2013. Green supplier selection based on IFS and GRA. *Grey Syst. Theory Appl.* 3, 158–176. <https://doi.org/10.1108/GS-04-2013-0007>.
- Buyukozkan, Gulcin and Cifci, Gizem, (2011), “A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers”, *Expert System with Applications*.
- Cinelli, M., Coles, S.R., Kirwan, K., (2014), “Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment”, *Ecol. Indic.* 46, pp. 138-148.
- Demir, L., Akpınar, M.E., Araz, C., Ilgin, M.A., 2018. A green supplier evaluation system based on a new multi-criteria sorting method: VIKORSORT. *Expert Syst. Appl.* 114, 479–487. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.07.071>
- DETR. (1999). *Sustainable Distribution A Strategy*. Office of the Deputy Prime Minister (ODPM), UK.
- Dobos, I., Vörösmarty, G., 2014. Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators. *Int. J. Prod. Econ.* 157, 273–278. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.026>
- Emas, R. (2015), “The Concept of Sustainable Development: Definition and Defining Principles”, Florida International University, Miami.
- Ewertowska A, Galán-Martín A, Guillén-Gosálbez G, Gavalda J, Jiménez L, (2016), “Assessment of the environmental efficiency of the electricity mix of the top European economies via data envelopment analysis”, *Journal of Cleaner Production*.
- Ewertowska A, Pozo C, Gavalda J, Jiménez L, Guillén-Gosálbez G, (2017), Combined use of life cycle assessment, data envelopment analysis and Monte Carlo simulation for quantifying environmental efficiencies under uncertainty, *Journal of Cleaner Production*.
- Freeman, J., Chen, T., 2015. Green supplier selection using an AHP-Entropy-TOPSIS framework. *Supply Chain Manag. Int. J.* 20, 327–340. <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2014-0142>
- Galankashi, M.R., Chegeni, A., Soleimanyanadegany, A., Memari, A., Anjomshoe, A., Helmi, S.A., Dargi, A., 2015. Prioritizing Green Supplier Selection Criteria Using Fuzzy Analytical Network Process. *Procedia CIRP* 26, 689–694. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.044>
- Gosalbez, Gonzalo G., (2011), “A novel MILP-based objective reduction method for multi-objective optimization: Application to environmental problems”, *Computer and Chemical Engineering*, 35, pp. 1469-1477.
- Gumus, A. T. (2009). “Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology.” *Expert Systems with Applications*, 36, 4067–4074.
- Hamdan, S., Cheaitou, A., 2017. Supplier selection and order allocation with green criteria: An MCDM and multi-objective optimization approach. *Comput. Oper. Res.* 81, 282–304. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.11.005>
- Hashemi, S.H., Karimi, A., Tavana, M., 2015. An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *Int. J. Prod. Econ.* 159, 178–191. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.027>
- Jabbour, A.B.L.S., Jabbour, C.J.C., 2009. Are supplier selection criteria going green? Case studies of companies in Brazil. *Ind. Manag.*

- Data Syst. 109, 477–495.
<https://doi.org/10.1108/02635570910948623>
- Kannan, D., Jabbour, A.B.L. de S., Jabbour, C.J.C., 2014. Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *Eur. J. Oper. Res.* 233, 432–447.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.07.023>
- Kim, I., Min, H., 2011. Measuring supply chain efficiency from a green perspective. *Manag. Res. Rev.* 34, 1169–1189.
<https://doi.org/10.1108/01409171111178738>
- Lee, A. H. I., Kang, Y., Hsu, H. C-F., & Hung, H.-C. (2009). “A green supplier selection model for high-tech industri”. *Expert Systems with Applications*, 36, pp. 7917–7927.
- Lee, T. (Jiun-Shen), Phuong Nha Le, T., Genovese, A., Koh, L.S.C., 2011. Using FAHP to determine the criteria for partner’s selection within a green supply chain: The case of hand tool industri in Taiwan. *J. Manuf. Technol. Manag.* 23, 25–55.
<https://doi.org/10.1108/17410381211196276>
- Martin, Angel G, Gosalbes, G.G., Stamford, Laurence, (2016), “Enhanced data envelopment analysis for sustainability assesment: A novel methodology and application to electricity technologies”, *Computer and Chemical Engineering*, 90, pp. 188-200.
- Min, H., Galle, W.P., 2001. Green purchasing practices of US firms. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 21, 1222–1238.
<https://doi.org/10.1108/EUM0000000005923>
- Saaty, T.L., (1999), “Decision Making for Leaders”, 3rd ed., RWS Publications: Pittsburgh, PA.
- Sahu, A.K., Datta, S., Mahapatra, S.S., 2016. Evaluation and selection of suppliers considering green perspectives: Comparative analysis on application of FMLMCDM and fuzzy-TOPSIS. *Benchmarking Int. J.* 23, 1579–1604. <https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2014-0111>
- Senthilkumaran, D., Ong, S.K., Tan, B.H. and Nee, A.Y.C. (2001), “Environmental life cycle cost analysis of products”, *Environmental Management and Health*, Vol. 12 No. 3, pp. 260-276.
- Tzeng, G.H., Chiang, C.H., Li, C.W. (2007). “Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATE”^L. *Expert Systems with Applications*, 32 (4), 1028–1044.
- Van Hock, R. I., & Erasmus (2000). “From reversed logistics to green supply chains.” *Logistics Solutions*, 2, 28–33.
- Vijayvargy, L., Thakkar, J., Agarwal, G., 2017. Green supply chain management practices and performance: The role of firm-size for emerging economies. *J. Manuf. Technol. Manag.* 28, 299–323. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2016-0123>
- WCDE (1987), “Our Common Future”, Oxford University Press, Oxford.
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E.K., Hashemkhani Zolfani, S., 2017. Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *J. Clean. Prod.* 142, 3728–3740.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.095>
- Zhu, Q., Dou, Y., Sarkis, J., 2010. A portfolio-based analysis for green supplier management using the analytical network process. *Supply Chain Manag. Int. J.* 15, 306–319.
<https://doi.org/10.1108/13598541011054670>