

Prioritas Pengembangan Kompetensi Green Job pada Industri Konstruksi Menggunakan Importance-Performance Analysis

Patria Yoga Pratama Hadi¹, Jojok Widodo Soetjipto^{2,*}, Ketut Aswatama Wismamitra²

¹) Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan No. 37, Kampus Tegalboto, Jember, Jawa Timur 68121, Indonesia

²) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan No. 37, Kampus Tegalboto, Jember, Jawa Timur 68121, Indonesia

*Corresponding Author's email: jojok.teknik@unej.ac.id

Diterima : 19 September 2025

Direvisi : 14 Oktober 2025

Disetujui : 14 Oktober 2025

Diterbitkan : 30 November 2025

Abstract: The implementation of green building construction in Indonesia is still limited, despite the increasing environmental damage caused by the conventional construction industry. The government has issued several regulations on green buildings and sustainable construction, but implementation is still not optimal. Furthermore, the concept of Green Jobs, as jobs that contribute to preserving or restoring environmental quality, is not yet widely recognized by construction service providers in Indonesia. In fact, a workforce with sustainable development knowledge and skills is crucial to support environmentally friendly construction practices. This study aims to evaluate the importance and application of green construction principles in the construction sector and determine priority actions. The research method used is Importance Performance Analysis (IPA), which involves administering questionnaires to construction stakeholders. This study is expected to provide a basis for formulating policies for developing Green Jobs by improving the competency of human resources for sustainable development. The results indicate a gap between high importance and low performance, with three important areas as the main priorities: mastery of green building technology, Zero Energy/Low Emission Building Systems, and Building Information Modeling (BIM) for sustainability. Proposed strategies include certified training, integrating sustainability criteria into procurement, and encouraging public-private partnerships for technology transfer. These findings provide a roadmap for all industry stakeholders to accelerate the development of a sustainable construction-skilled workforce.

Keywords: green jobs; sustainable construction; importance performance analysis (IPA); technical competencies; workforce development.

Abstrak: Penerapan konstruksi bangunan hijau di Indonesia masih terbatas, meskipun kerusakan lingkungan akibat industri konstruksi konvensional semakin meningkat. Beberapa regulasi bangunan hijau dan konstruksi berkelanjutan sudah diterbitkan oleh pemerintah, namun implementasi masih belum optimal. Selain itu, konsep Green Jobs sebagai pekerjaan yang berkontribusi terhadap pelestarian atau pemulihan kualitas lingkungan, belum banyak dikenal oleh penyedia jasa konstruksi di Indonesia. Padahal, keberadaan tenaga kerja yang memiliki pengetahuan dan keterampilan pembangunan berkelanjutan sangat penting untuk mendukung praktik konstruksi yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kepentingan dan penerapan prinsip konstruksi hijau di sektor konstruksi, serta menentukan tindakan prioritasnya. Metode penelitian yang digunakan adalah *Importance Performance Analysis* (IPA) dengan penyebaran kuesioner kepada stakeholder konstruksi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam merumuskan kebijakan pengembangan Green Jobs melalui peningkatan kompetensi SDM pembangunan berkelanjutan. Hasil menunjukkan adanya kesenjangan antara tingkat kepentingan yang tinggi dan kinerja yang rendah, dengan tiga area penting sebagai prioritas utama yaitu penguasaan teknologi green building, Zero Energy/Low Emission Building Systems, dan Building Information Modeling (BIM) untuk keberlanjutan. Strategi yang diusulkan yaitu pelatihan bersertifikat, mengintegrasikan kriteria keberlanjutan pada pengadaan, dan mendorong kemitraan publik-swasta untuk transfer teknologi. Temuan ini memberikan peta jalan bagi semua pemangku kepentingan industri untuk mempercepat pengembangan tenaga kerja terampil konstruksi berkelanjutan.

Kata kunci : pekerjaan hijau; konstruksi berkelanjutan; analisis importance-performance (IPA); kompetensi teknis; pengembangan SDM.

1. PENDAHULUAN

Konstruksi bangunan hijau yang ada di Indonesia masih belum banyak diterapkan oleh pihak penyedia jasa konstruksi. Industri konstruksi masih menggunakan metode pembangunan yang memiliki dampak negatif berupa kerusakan lingkungan dan tidak memiliki sifat keberlanjutan [1]. Dampak negatif ini akan terus berlanjut jika tidak ada upaya peralihan ke konstruksi bangunan hijau. Oleh karena itu perlu dukungan semua stakeholder pada industri konstruksi.

Regulasi terkait konstruksi bangunan hijau sudah dibuat oleh pemerintah melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 21 Tahun 2021 tentang penilaian bangunan hijau, ramah lingkungan, dan berkelanjutan [2]. Regulasi ini dapat memberikan panduan jelas dan standar baku tentang seperti apa bangunan hijau yang ideal. Penyedia jasa konstruksi bisa menggunakan peraturan tersebut untuk menerapkan pada setiap pekerjaan konstruksi yang sedang berlangsung sebagai pedoman. Penerapan peraturan ini masih banyak menghadapi kendala yaitu penerapan peraturan yang masih terbatas, biaya investasi yang besar, teknologi, pengetahuan dan keterampilan konstruksi hijau yang terbatas. Tantangan yang paling utama untuk diselesaikan terkait bangunan hijau adalah penyediaan Sumber Daya Manusia (SDM) yang memiliki kompetensi dalam green job.

Green Job adalah kegiatan yang berkaitan dengan tenaga kerja yang memiliki pemahaman tentang pembangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan selama proses kegiatan konstruksi berlangsung [3]. SDM yang akan terjun di konstruksi diberikan pemahaman dan pengarahan agar memiliki kompetensi yang telah dirancang sebelumnya. SDM melaksanakan kegiatan konstruksi tidak hanya mencapai target progress yang diinginkan, tetapi memperhatikan dampak pada lingkungan sekitar atas pekerjaan konstruksi yang sedang berlangsung. Dengan begitu, pekerjaan konstruksi mencapai target yang diinginkan dengan maksimal termasuk tidak merusak lingkungan sekitar yang telah ada sebelumnya.

Indonesia melakukan upaya agar pengembangan pembangunan tidak berfokus pada sektor bisnis saja melainkan juga memperhatikan lingkungan sekitar juga [4]. Hal ini didukung dengan adanya kebijakan model pembangunan reducing emission from deforestation and degradation (REDD). Konsep ini dapat menekan risiko kerusakan lingkungan yang menjadi aset untuk bangsa dan negara tentang keberadaan lingkungan yang masih belum tentu bisa berkembang lagi jika dihilangkan. Dampak pembangunan yang tidak terkontrol dapat mengakibatkan punahnya hewan atau tanaman yang

seharusnya bisa berkembang. Dengan adanya kebijakan ini, bisa membantu pihak terkait dalam melakukan pembangunan sudah sesuai atau belum dalam mengambil tindakan selanjutnya.

Indonesia belum memiliki peraturan khusus yang membahas tentang green jobs sebagai pedoman penyedia jasa konstruksi. Hal ini membuat pekerja tidak memiliki kualifikasi sesuai dengan green jobs, sehingga belum memahami metode pelaksanaan konstruksi berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini mencari kompetensi yang paling dibutuhkan pada green job agar proyek tersebut masuk dalam kategori green building dan keberlanjutan. Penyedia jasa konstruksi sangat membutuhkan green job untuk membantu penyusunan pelaksanaan konstruksi yang berkelanjutan. Green job membutuhkan beberapa variabel kompetensi teknis sehingga perlu disusun prioritas pengembangannya berdasarkan kebutuhan yang paling mendesak.

Metode penentuan prioritas yang sudah banyak dilakukan adalah menggunakan metode *Importance Performance Analysis* (IPA). Metode ini telah banyak dipergunakan pada penelitian sebelumnya seperti penerapan ekonomi sirkular [5] keberlanjutan bangunan prefabrikasi dan masih banyak lagi penelitian yang menggunakan metode IPA [6]. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode *Importance Performance Analysis* (IPA) untuk menentukan prioritas pengembangan kompetensi teknis green job di industri konstruksi Indonesia yang masih minim diteliti.

2. METODE PENELITIAN

Konsep Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menentukan prioritas variabel green job dan kualitatif deskriptif untuk mengeksplorasi strategi yang efektif dalam meningkatkan kompetensi green job di kalangan tenaga kerja konstruksi. Pendekatan ini bertujuan untuk memahami perspektif tenaga kerja, pengelola proyek, dan pemangku kepentingan lainnya terkait dengan penerapan green job di industri konstruksi.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini adalah seluruh stakeholder industri konstruksi di Jawa Timur. Jumlah populasi ini masih belum diketahui dengan pasti, maka teknik pengambilan sampel dilakukan secara purposive sampling, dengan kriteria responden adalah pihak yang terkait dengan kegiatan industri konstruksi dengan kriteria pendidikan minimal vokasi D3, pengalaman minimal 3 tahun dan telah berpraktik di industri konstruksi. Untuk menjangka keberagaman responden

maka sampel disebar pada berbagai stakeholder proyek konstruksi meliputi: pemilik proyek, konsultan, kontraktor, suplier, Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP), akademisi, dan institusi terkait industri konstruksi. Hal ini penting ditetapkan agar sesuai dengan tujuan penelitian untuk menyusun prioritas strategi peningkatan kompetensi teknis green job di sektor konstruksi.

Penentuan Variabel Hasil Literatur Review

Variabel utama pada penelitian ini adalah kompetensi teknis insinyur sipil dalam menerapkan prinsip keberlanjutan dan teknologi ramah lingkungan. Kompetensi ini mengacu pada kemampuan praktis yang diperlukan untuk mengintegrasikan aspek-aspek berkelanjutan ke dalam seluruh tahapan proyek konstruksi. Variabel beserta referensi pendukungnya disajikan pada **Tabel 1**.

Teknik Pengumpulan Data Penelitian

Untuk memperoleh data yang komprehensif dan mendalam mengenai kompetensi tenaga kerja serta penerapan konsep green job dalam industri konstruksi, penelitian ini menggunakan beberapa teknik pengumpulan data yang saling melengkapi. Setiap teknik dirancang untuk menjawab tujuan penelitian dari sisi teoritis maupun empiris, dengan tahapan pelaksanaan yang disesuaikan berdasarkan kebutuhan analisis.

1. Studi literatur dan observasi lapangan

Studi literatur dilakukan pada tahap awal penelitian untuk memperoleh dasar teori, konsep *construction green job*, kebijakan ketenagakerjaan, dan indikator kompetensi green job yang relevan. Sumber literatur meliputi jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, serta dokumen kebijakan nasional dan internasional. Observasi lapangan dilakukan di beberapa proyek konstruksi guna mengamati secara langsung aktivitas tenaga kerja, praktik ramah lingkungan yang telah diterapkan, serta kondisi penerapan prinsip green job. Objek observasi mencakup tenaga kerja operasional, pengawas proyek, dan kondisi lingkungan kerja. Proses observasi dilakukan secara non-partisipatif dengan mencatat fenomena lapangan yang berkaitan dengan perilaku, penggunaan material, serta sistem pengelolaan lingkungan proyek.

2. Survei kuisioner

Survei kuisioner digunakan untuk memperoleh data persepsi dan penilaian dari para pelaku industri konstruksi terhadap penerapan green job.

Kuisioner disusun berdasarkan sepuluh variabel kompetensi teknis green job yang diperoleh dari

hasil kajian literatur (lihat Tabel 1), mencakup aspek penguasaan teknologi bangunan hijau, Life Cycle Assessment (LCA), circular economy, sistem bangunan rendah emisi, material hijau, konstruksi modular, Building Information Modeling (BIM) untuk keberlanjutan, desain tahan iklim, digital twin, dan penerapan konstruksi hijau pada proyek infrastruktur skala besar.

Tabel 1 Variabel dan referensi kompetensi teknis green job

No.	Variabel	Penjelasan	Referensi
1	Penguasaan teknologi green building	Penggunaan desain bangunan hemat energi, pencahayaan alami, ventilasi silang, dll.	[7]
2	<i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) dan <i>Life Cycle Costing</i> (LCC)	Kemampuan melakukan evaluasi siklus hidup material dan biaya proyek dari hulu ke hilir	[8]
3	Penerapan <i>circular economy</i> dalam konstruksi	Desain untuk reuse/re-cycle material, minimasi limbah konstruksi	[9]
4	<i>Zero energy/low emission building systems</i>	Perancangan bangunan dengan emisi minimum atau nol, menggunakan energi terbarukan	[10]
5	<i>Green materials & retrofitting solutions</i>	Penggunaan bahan ramah lingkungan, daur ulang beton/kaca, retrofit untuk efisiensi energi	[11], [12]
6	<i>Prefabricated modular construction</i>	Konstruksi berbasis sistem modular atau prefabrikasi untuk efisiensi sumber daya	[13]
7	<i>Building Information Modeling</i> (BIM)	Pemanfaatan BIM untuk analisis energi, air, material dan simulasi keberlanjutan lingkungan	[14]
8	Desain perencanaan tahan iklim (<i>climate-resilient design</i>)	Kemampuan merancang infrastruktur tahan terhadap dampak perubahan iklim	[15]
9	Digital twin sensor analytics	& Integrasi teknologi sensor dan pemodelan digital untuk	[13], [16]

No.	Variabel	Penjelasan	Referensi
	untuk optimasi energi	pemantauan dan optimasi performa proyek	
10	Penerapan konstruksi hijau pada proyek infrastruktur skala besar	Kemampuan menerapkan prinsip green engineering pada jalan, jembatan, irigasi, dsb	[17]

Setiap variabel diukur menggunakan dua dimensi penilaian, yaitu:

- **Tingkat Kepentingan (*Importance*):** menggambarkan sejauh mana kompetensi tersebut dianggap penting oleh responden dalam mendukung penerapan green job di proyek konstruksi.
- **Tingkat Kinerja (*Performance*):** menunjukkan sejauh mana kompetensi tersebut telah diterapkan di lingkungan kerja responden.

Penilaian dilakukan dengan skala Likert lima poin, yang diklasifikasikan menjadi tiga kategori interpretatif: rendah (1,00–2,33), sedang (2,34–3,66), dan tinggi (3,67–5,00). Target responden penelitian ini adalah tenaga kerja profesional di sektor konstruksi yang memiliki pengalaman minimal tiga tahun dan pendidikan minimal D3, meliputi sektor konsultan, kontraktor, akademisi, pemilik proyek, lembaga sertifikasi profesi (LSP), penyedia material, serta perwakilan instansi pemerintah. Penyebaran kuisioner dilakukan secara daring melalui Google Form untuk menjangkau responden dari berbagai latar belakang profesi di wilayah Jawa Timur. Hasil survei digunakan sebagai dasar analisis menggunakan metode *Importance–Performance Analysis* (IPA) guna menentukan prioritas pengembangan kompetensi teknis green job pada industri konstruksi.

3. Dokumentasi

Teknik dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data sekunder yang mendukung hasil studi literatur, observasi, dan survei kuisioner. Data yang dikumpulkan meliputi kebijakan pemerintah terkait pembangunan berkelanjutan dan green construction, pedoman teknis penerapan konstruksi hijau, standar sertifikasi kompetensi tenaga kerja konstruksi, serta laporan atau publikasi mengenai implementasi green job di sektor konstruksi. Keperluan utama dari dokumentasi ini adalah untuk memberikan konteks kebijakan dan bukti empiris terhadap hasil analisis kuisioner, serta melakukan validasi (triangulasi data) antara persepsi responden dan kondisi aktual di

lapangan. Selain itu, data dokumentasi digunakan untuk menyusun interpretasi strategis pada tahap pembahasan, sehingga rekomendasi yang dihasilkan tidak hanya berdasarkan persepsi, tetapi juga selaras dengan kebijakan dan praktik nyata dalam industri konstruksi berkelanjutan.

4. Wawancara mendalam

Wawancara mendalam dilakukan setelah tahap survei kuisioner dan analisis awal dengan metode *Importance–Performance Analysis* (IPA). Tujuan pelaksanaan wawancara ini adalah untuk memvalidasi hasil temuan kuantitatif serta memperdalam pemahaman terhadap konteks implementasi kompetensi teknis green job di lapangan. Informan wawancara terdiri atas perwakilan tenaga kerja konstruksi, pengelola proyek, asosiasi profesi, lembaga sertifikasi profesi, serta instansi pemerintah yang terkait dengan regulasi dan kebijakan ketenagakerjaan sektor konstruksi. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur, sehingga peneliti dapat menggali informasi tambahan dan melakukan klarifikasi terhadap hasil analisis IPA, khususnya variabel-variabel yang termasuk dalam Kuadran I (*Concentrate Here*) sebagai prioritas utama pengembangan kompetensi. Hasil wawancara digunakan untuk memperkuat validitas temuan (triangulasi) dan sebagai dasar dalam perumusan strategi pengembangan green job yang relevan dengan kebutuhan industri dan kebijakan pemerintah.

Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode *Importance–Performance Analysis* (IPA) untuk menganalisis data hasil survei. Metode IPA digunakan untuk mengetahui sejauh mana persepsi responden terhadap tingkat kepentingan (*importance*) dan kinerja aktual (*performance*) dari berbagai faktor yang berkaitan dengan penerapan green jobs dalam industri konstruksi. Melalui metode ini, dapat diidentifikasi faktor-faktor prioritas yang perlu ditingkatkan agar implementasi green jobs menjadi lebih efektif dan berkelanjutan.

Proses analisis data dengan metode IPA dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data Kuisioner

Data diperoleh dari hasil survei menggunakan instrumen kuisioner dengan skala Likert lima poin. Responden memberikan penilaian terhadap setiap indikator berdasarkan dua dimensi, yaitu tingkat kepentingan (*importance*) dan tingkat kinerja (*performance*).

2. Penghitungan Nilai Rata-Rata (Mean Score)

Data yang telah terkumpul kemudian diolah dengan menghitung nilai rata-rata untuk masing-masing indikator pada kedua dimensi.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \text{ dan } \bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (1)$$

dimana X_i rata-rata tingkat kepentingan indikator ke-I, Y_i rata-rata tingkat kinerja indikator ke-i dan n jumlah responden.

3. Tingkat kesesuaian (*level of conformity*)

Tingkat kesesuaian (*level of conformity*), yaitu ukuran perbandingan antara persepsi kinerja aktual dan tingkat harapan responden terhadap setiap atribut yang dinilai. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Tingkat Kesesuaian (\%)} = \frac{\text{Skor Kinerja}}{\text{Skor Kepentingan}} \times 100\% \quad (2)$$

Nilai tingkat kesesuaian menunjukkan seberapa jauh kinerja aktual memenuhi harapan atau tingkat kepentingan responden. Adapun nilai dan kategori dapat dilihat pada **Tabel 2**.

4. Penentuan Nilai Rata-Rata Total (*Grand Mean*)

Nilai rata-rata keseluruhan untuk dimensi kepentingan dan kinerja dihitung guna menentukan posisi garis pembagi pada diagram kartesius. Garis ini digunakan sebagai acuan untuk mengelompokkan faktor ke dalam empat kuadran prioritas.

5. Pemetaan pada Diagram Kartesius IPA

Setiap indikator dipetakan ke dalam diagram kartesius berdasarkan koordinat (X_i , Y_i), dengan pembagian sebagai berikut:

- Kuadran I (Prioritas Utama): Kepentingan tinggi, kinerja rendah maka perlu segera ditingkatkan.
- Kuadran II (Pertahankan Prestasi): Kepentingan tinggi, kinerja tinggi maka tetap dipertahankan.
- Kuadran III (Prioritas Rendah): Kepentingan rendah, kinerja rendah maka tidak menjadi fokus utama.
- Kuadran IV (Berlebihan): Kepentingan rendah, kinerja tinggi maka dapat dialihkan sumber daya ke faktor lain yang lebih penting.

6. Interpretasi dan Rekomendasi Strategis

Berdasarkan posisi indikator dalam masing-masing kuadran, dilakukan analisis terhadap kesenjangan (*gap analysis*) antara tingkat kepentingan dan kinerja aktual. Faktor-faktor yang masuk Kuadran I menjadi dasar utama dalam penyusunan rekomendasi strategis untuk peningkatan kompetensi dan penerapan green jobs di sektor konstruksi.

Tabel 2 Prosentase dan kategori tingkat kesesuaian

Tingkat Kesesuaian (%)	Kategori	Interpretasi
$\geq 85\%$	Tinggi	Kinerja telah memenuhi atau mendekati harapan responden, implementasi kompetensi tergolong baik.
$70\% - < 85\%$	Sedang	Kinerja cukup baik namun belum sepenuhnya memenuhi tingkat kepentingan; masih perlu peningkatan.
$< 70\%$	Rendah	Kinerja jauh di bawah harapan responden; atribut ini menjadi prioritas utama untuk perbaikan.

Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Sebelum digunakan dalam survei utama, dilakukan uji validitas dan reliabilitas terhadap instrumen penelitian yang terdiri atas 10 butir pertanyaan pada masing-masing dimensi importance dan performance.

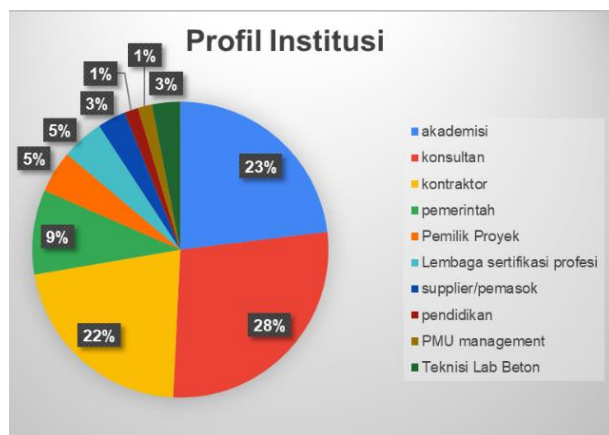
Hasil uji validitas menunjukkan bahwa seluruh item pernyataan memiliki nilai korelasi (r_{hitung}) antara 0.506–0.875 untuk dimensi importance dan 0.803–0.986 untuk dimensi performance, yang seluruhnya lebih besar daripada nilai r_{tabel} (0.2609; $N = 55$, $\alpha = 0.05$). Dengan demikian, seluruh butir pertanyaan dinyatakan valid.

Selanjutnya, hasil uji reliabilitas menggunakan metode Cronbach's Alpha menunjukkan nilai sebesar 0.793 untuk dimensi importance dan 0.952 untuk dimensi performance. Kedua nilai tersebut melebihi batas minimum 0.70, yang berarti bahwa instrumen penelitian memiliki konsistensi internal yang tinggi dan reliabel untuk digunakan pada tahap analisis.

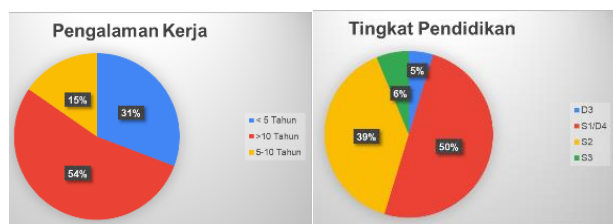
3. HASIL PENELITIAN

Data kuesioner yang terkumpul dianalisis menggunakan Metode *Importance-Performance Analysis* (IPA). Hasil analisis untuk setiap variabel kemudian divisualisasikan ke dalam diagram kartesius (grafik IPA) yang memetakan tingkat harapan (*importance*) dan kinerja (*performance*). Bagian ini

membahas interpretasi dari peta tersebut untuk setiap variabel, menganalisis kesenjangan yang terjadi, serta memberikan argumentasi atas temuan-temuan yang telah diperoleh untuk bahan penyusunan strategi kompetensi yang paling tepat.



(a) Sektor Profesi



(b) Pengalaman Kerja

(c) Tingkat Pendidikan

Gambar 1 Profesi responden kuesioner

Penyajian Profil Responden

Berdasarkan kuesioner yang disebar, terkumpul respons dari 64 responden dengan profil yang beragam, yang mewakili berbagai sektor pelaku industri konstruksi. Profil responden diklasifikasikan berdasarkan tiga aspek utama, yaitu sektor profesi, lama pengalaman kerja, dan tingkat pendidikan.

1. Sektor Profesi: Sebagian besar responden berasal dari sektor konsultan (28%), diikuti oleh akademisi (23%), dan kontraktor (22%). Sektor lainnya meliputi pemerintah (9%), pemilik proyek (5%), lembaga sertifikasi profesi (5%), supplier/pemasok (3%), teknisi laboratorium beton (3%), serta Project Management Unit (PMU) dan institusi pendidikan (masing-masing 1%). Seluruh responden dipilih berdasarkan keterlibatan aktif dalam kegiatan konstruksi yang berpotensi mendukung praktik green jobs. Termasuk di dalamnya teknisi laboratorium beton yang berperan dalam pengujian material ramah lingkungan dan pengendalian mutu

material konstruksi sebagai bagian dari penerapan prinsip green construction

2. Pengalaman Kerja: Mayoritas responden memiliki pengalaman kerja yang panjang, yaitu >10 tahun (54%). Sebanyak 31% memiliki pengalaman <5 tahun, dan 15% memiliki pengalaman antara 5-10 tahun.
3. Tingkat Pendidikan: Tingkat pendidikan tertinggi yang dimiliki sebagian besar responden adalah S1/D4 (50%), diikuti oleh S2 (39%), S3 (6%), dan D3 (5%).

Visualisasi lengkap dari data profil responden ini disajikan pada **Gambar 1**.

Analisis Data Kompetensi Teknis Green Job Menggunakan IPA

Kompetensi teknis dalam konteks penelitian ini merujuk pada kemampuan profesional tenaga kerja konstruksi untuk menerapkan prinsip keberlanjutan dan teknologi ramah lingkungan secara praktis dalam setiap tahapan proyek konstruksi. Kompetensi ini tidak hanya mencakup keterampilan teknis konvensional (seperti perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan proyek), tetapi juga kemampuan untuk mengintegrasikan aspek green construction — seperti efisiensi energi, pengelolaan limbah, penggunaan material ramah lingkungan, penerapan Building Information Modeling (BIM), serta penguasaan teknologi bangunan rendah emisi [3]. Hasil survei responden terhadap variabel kompetensi teknis green job dapat dilihat pada **Tabel 3**. Data ini dianalisis menggunakan metode IPA untuk mendapatkan temuan kritis terhadap kesenjangan (gap) antara tingkat kepentingan dan kinerja. Hasil analisis terhadap sepuluh variabel kompetensi teknis insinyur sipil dalam penerapan prinsip keberlanjutan mengungkapkan bahwa terdapat kesenjangan (gap) yang konsisten antara tingkat kepentingan dan kinerja pada semua atribut, di mana nilai kepentingan selalu lebih tinggi daripada nilai kinerja.

Hal ini menunjukkan bahwa meskipun para responden menyadari sangat pentingnya berbagai aspek teknologi hijau dan keberlanjutan dalam praktik konstruksi, implementasi aktualnya dalam proyek-proyek maupun kapabilitas individu masih belum optimal dan belum memenuhi harapan.

1. Tingkat kepentingan rata-rata tinggi dan merata. Seluruh sub-variabel memiliki nilai kepentingan yang tinggi (berkisar antara 4.39 hingga 4.73 pada skala 5). Ini membuktikan adanya konsensus yang kuat di kalangan responden (akademisi, konsultan, kontraktor dan lain-lain) bahwa

semua kompetensi teknis yang disurvei merupakan hal yang sangat krusial untuk dikembangkan. Terutama, "Penerapan konstruksi hijau dalam proyek infrastruktur skala besar" menempati peringkat tertinggi (4.73), yang mengindikasikan bahwa tekanan dan kebutuhan untuk menerapkan prinsip berkelanjutan justru paling besar pada proyek-proyek strategis nasional.

Tabel 3 Tingkat kepentingan dan kinerja variabel kompetensi teknik green job

No	Variabel	Kepentingan	Kinerja
1	Penguasaan teknologi green building	4.61	3.73
2	Life Cycle Assessment (LCA) dan Life Cycle Costing (LCC)	4.58	3.89
3	Penerapan circular economy dalam konstruksi	4.61	3.95
4	Zero energy/low emission building systems	4.64	3.80
5	Green materials & retrofitting solutions	4.63	3.86
6	Prefabricated & modular construction	4.42	3.88
7	Building Information Modeling (BIM) untuk keberlanjutan	4.64	3.75
8	Desain dan perencanaan tahan iklim (climate-resilient design)	4.67	3.86
9	Digital twin & sensor analytics untuk optimasi energi	4.39	3.53
10	Penerapan konstruksi hijau pada proyek infrastruktur skala besar	4.73	3.88

2. Tingkat Kinerja masuk kategori sedang dan perlu peningkatan implementasinya. Nilai kinerja untuk semua sub-variabel masih berada di kisaran 3.5 hingga 4.0, yang berarti secara persepsi responden, implementasinya masih dalam kategori "sedang" hingga "tinggi", namun tidak semua variabel mencapai level "tinggi" sesuai dengan tingkat harapannya. Kesenjangan terbesar terjadi pada variabel "Digital twin & sensor analytics untuk optimasi energi" (Gap: -

0.86). Hal ini dapat disebabkan karena teknologi ini termasuk masih relatif baru, mahal, dan memerlukan keahlian khusus yang mungkin belum banyak dikuasai oleh insinyur sipil di lapangan.

Tabel 4 Hasil analisis kesesuaian antara kinerja dan harapan pada variabel green job

Kode Kesuaian	Tingkat	Hasil Tingkat Kesesuaian
TK1		79,66
TK2		83,62
TK3		84,41
TK4		80,81
TK5		82,43
TK6		86,57
TK7		79,80
TK8		81,61
TK9		79,72
TK10		80,86

Hasil perhitungan tingkat kesesuaian antara kinerja dan harapan responden terhadap setiap item atribut kompetensi teknis dapat dilihat pada **Tabel 4**. Analisis ini mengungkap besarnya gap untuk menentukan atribut mana yang menjadi prioritas perbaikan.

Berdasarkan hasil perhitungan tingkat kesesuaian yang disajikan pada Tabel 4, tingkat kesesuaian antara kinerja dan harapan responden terhadap seluruh atribut kompetensi teknis menunjukkan nilai yang masuk pada kategori sedang sampai tinggi, yakni berada pada kisaran 79,66 hingga 86,57. Hal ini mengindikasikan bahwa secara umum, kinerja yang dipersepsikan oleh responden telah memenuhi harapan meskipun masih terdapat ruang untuk peningkatan.

Nilai kesesuaian tertinggi terdapat pada atribut TK6 (86,57), yang menandakan bahwa aspek kompetensi teknis yang diukur oleh item ini merupakan kekuatan atau keunggulan utama. Di sisi lain, nilai kesesuaian terendah ditemukan pada atribut TK1 (79,66), diikuti oleh TK9 (79,72) dan TK7 (79,80). Ketiga atribut dengan gap negatif terbesar ini menandakan adanya ketidakpuasan atau harapan yang belum terpenuhi secara optimal dibandingkan dengan atribut lainnya. Oleh karena itu, ketiga item ini (TK1, TK9, TK7) harus menjadi prioritas utama dalam penyusunan strategi perbaikan dan pengembangan kompetensi teknis ke depan.

Meskipun tidak menjadi prioritas tertinggi, atribut-atribut lain seperti TK3 (84,41), TK2 (83,62), dan TK5 (82,43) menunjukkan performa yang baik dan dapat dipertahankan. Sementara itu, atribut TK4 (80,81), TK10 (80,86), dan TK8 (81,61) berada pada kategori

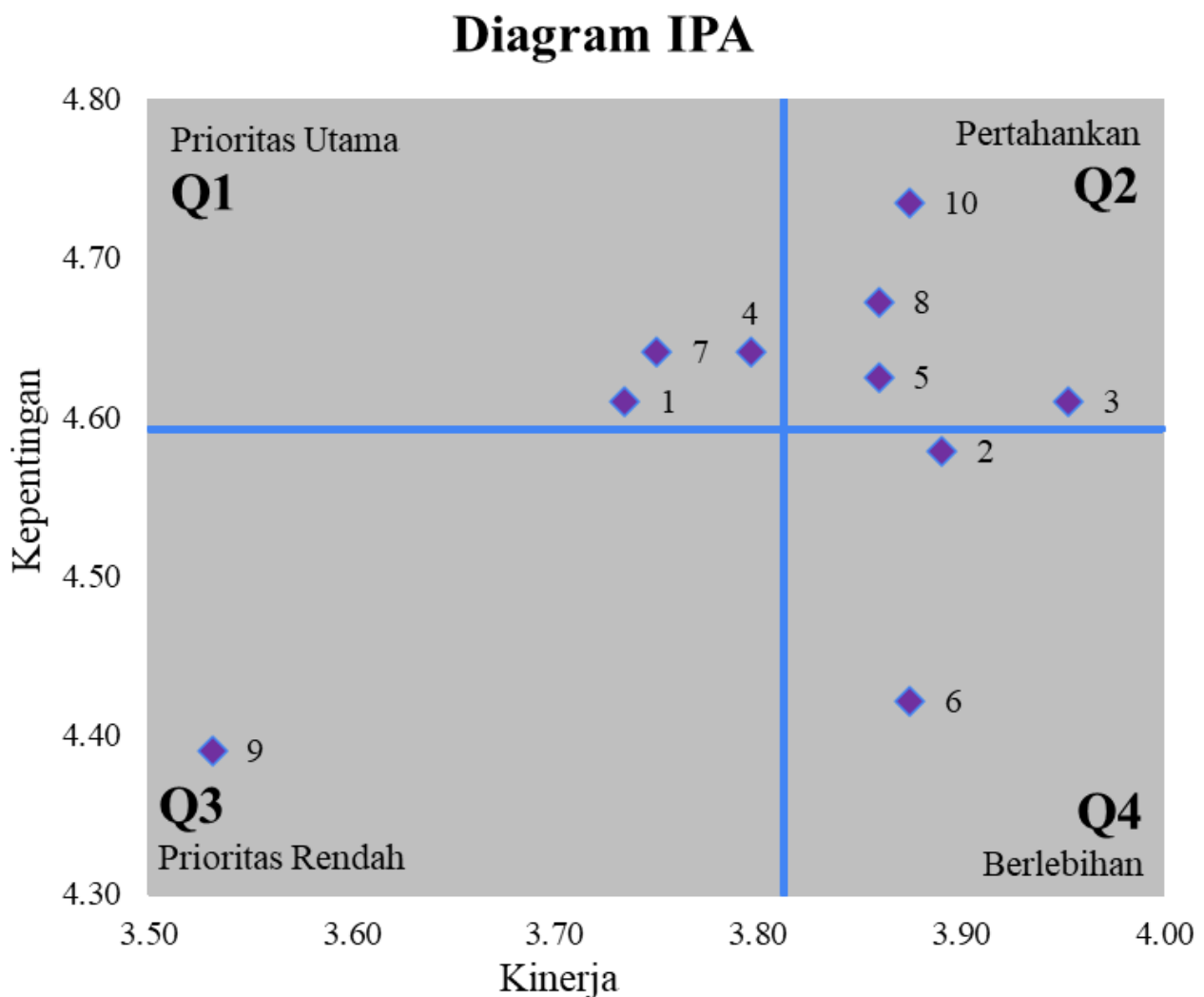
menengah, yang juga perlu mendapatkan perhatian untuk ditingkatkan guna mencapai keunggulan yang menyeluruh.

Secara keseluruhan, temuan ini memberikan peta yang jelas bagi manajemen untuk mengalokasikan sumber daya secara lebih efisien. Peningkatan kompetensi sebaiknya dapat dilakukan semua item, namun agar lebih fokus dan mempercepat tingkat kesesuaian maka perlu intervensi pada atribut-atribut dengan gap kesenjangan terbesar guna memaksimalkan dampak peningkatan kepuasan dan kinerja secara keseluruhan.

Diagram Antara Kinerja Dan Harapan Hasil Kuisioner

Hasil survei yang sudah dikumpulkan pada **Tabel 3** diploting dengan menggunakan diagram kartesius. Adapun hasil analisis metode IPA disajikan dalam bentuk Diagram IPA pada **Gambar 2**. Diagram ini menampilkan posisi setiap variabel kompetensi teknis green job sehingga mengelompok pada 4 kuadran.

Berdasarkan diagram pada **Gambar 2**, yang memetakan hubungan antara kepentingan (*importance*) dan kinerja (*performance*) dari setiap atribut Green Job, dapat dianalisis prioritas strategi pengembangan. Pemetaan ini menghasilkan empat kuadran yang memberikan implikasi pengelolaan yang berbeda untuk setiap variabel. Sebaran setiap variabel pada keempat kuadran disajikan secara rinci pada **Tabel 5**.



Gambar 2 Diagram IPA (hubungan tingkat kinerja dan kepentingan)

Tabel 5 Penyebaran variabel kompetensi teknis *green job*

No	Kuadran	Variabel
1	I	Var. 1: Penguasaan Teknologi Green Building Var. 4: Zero energy/low emission building systems Var. 7: Building Information Modelling (BIM) untuk keberlanjutan
2	II	Var. 3: Penerapan circular economy dalam konstruksi Var. 5: Green materials & retrofitting solutions Var. 8: Desain dan perencanaan tahan iklim (climate-resilient design) Var. 10: Penerapan konstruksi hijau dalam proyek infrastruktur skala besar
3	III	Var. 9: Digital twin & sensor analytics untuk optimasi energi
4	IV	Var. 2: Life Cycle Assessment (LCA) dan Life Cycle Costing (LCC) Var. 6: Prefabricated & modular construction

Kuadran I (Concentrate Here / Prioritas Utama):

Variabel-variabel yang terletak di kuadran ini memiliki tingkat kepentingan tinggi, namun tingkat kinerjanya dinilai masih rendah. Kuadran ini memiliki variabel yang menjadi prioritas utama untuk dilakukan perbaikan. Variabel di kuadran ini menunjukkan bahwa responden menganggap aspek-aspek tersebut sangat penting dalam kompetensi teknis Green Job, namun implementasinya masih belum memenuhi harapan. Oleh karena itu, kebijakan pengembangan SDM harus mengalokasikan program pelatihan yang khusus dan intensif pada variabel-variabel ini untuk meningkatkan kapabilitas teknis agar kinerjanya meningkatkan sesuai dengan tingkat kepentingannya. Variabel tersebut adalah: (i) Penguasaan Teknologi Green Building; (ii) Zero energy/low emission building systems; dan (iii) Building Information Modelling (BIM) untuk keberlanjutan.

Kuadran II (Keep Up The Good Work / Pertahankan Prestasi):

Variabel pada kuadran II memiliki tingkat kepentingan dan kinerja yang sama-sama tinggi. Posisi

ini menunjukkan bahwa variabel tersebut dianggap sangat penting oleh responden dan kinerjanya telah dinilai memuaskan. Variabel pada kuadran ini merupakan kekuatan atau *competitive advantage* pada kompetensi teknis *green jobs* saat ini. Strategi utama untuk variabel ini adalah mempertahankan dan memantau konsistensi kinerjanya. Kebijakan pengembangan SDM yang ada harus cukup untuk menjamin bahwa standar kinerja tinggi ini tetap terjaga. Variabel pada kuadran ini meliputi: (i) Penerapan circular economy dalam konstruksi; (ii) Green materials & retrofitting solutions; (iii) Desain dan perencanaan tahan iklim (climate-resilient design); dan (iv) Penerapan konstruksi hijau dalam proyek infrastruktur skala besar

Kuadran III (Low Priority / Prioritas Rendah):

Variabel pada kuadran III memiliki tingkat kepentingan dan kinerja yang sama-sama rendah. Meskipun kinerjanya dinilai rendah, karena tingkat kepentingannya juga rendah, maka variabel ini tidak menjadi prioritas utama untuk perbaikan. Kebijakan pengembangan SDM yang berlebihan untuk atribut dalam kuadran ini dianggap tidak efisien. Namun, variabel ini tidak boleh diabaikan sama sekali, karena persepsi kepentingannya dapat berubah seiring waktu. Variabel ini adalah Digital twin & sensor analytics untuk optimasi energi.

Kuadran IV (Possible Overkill / Berlebihan):

Kuadran IV berisi variabel-variabel yang memiliki tingkat kinerja tinggi, tetapi tingkat kepentingannya relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa kebijakan pengembangan SDM mungkin telah dialokasikan secara berlebihan (*over-allocation*) pada aspek-aspek ini. Kinerja yang tinggi tentu baik, karena dipersepsikan tidak terlalu penting oleh responden, maka efisiensi kebijakan pengembangan SDM perlu dipertimbangkan. Strategi yang dapat diambil adalah mempertahankan kinerja dengan biaya yang lebih efisien atau melakukan komunikasi yang lebih baik untuk meningkatkan persepsi kepentingan atribut-atribut ini di mata responden. Variabel yang termasuk pada kuadran ini antara lain: (i) Life Cycle Assessment (LCA) dan Life Cycle Costing (LCC); dan (ii) Prefabricated & modular construction.

Secara keseluruhan, diagram IPA memberikan kerangka kerja yang strategis untuk pengambilan keputusan kebijakan pengembangan SDM. Temuan ini memungkinkan para manajer dan pemangku kepentingan untuk tidak hanya mengidentifikasi area yang membutuhkan perbaikan mendesak (Kuadran I) tetapi juga mengoptimalkan alokasi sumber daya dengan

mempertahankan keunggulan (Kuadran II), menghemat sumber daya pada area prioritas rendah (Kuadran III), dan mengevaluasi efisiensi pada area yang dianggap berlebihan (Kuadran IV).

4. DISKUSI DAN IMPLIKASI STRATEGIS

Pada sub bagian akan mendiskusikan hasil penelitian dan implikasinya pada pengembangan kompetensi teknis green job. Diskusi ini akan menyusun implikasi strategi yang paling tepat untuk mempercepat terwujudnya kompetensi teknis green jobs.

Prioritas Strategi Peningkatan Kompetensi Teknis Green Job

Hasil analisis metode IPA menghasilkan kerangka kerja yang jelas dan dapat ditindaklanjuti untuk memprioritaskan intervensi strategis dalam mengembangkan kompetensi teknis green jobs. Prioritas diberikan kepada 3 variabel penting yaitu (i) Penguasaan Teknologi Green Building; (ii) Zero energy/low emission building systems; dan (iii) Building Information Modelling (BIM) untuk keberlanjutan. Ketiga variabel tersebut terletak pada Kuadran I (prioritas utama) yang menandakan perlunya penyusunan strategis yang mendesak. Kesenjangan antara tingkat kepentingan tinggi dan kinerja rendah ini menunjukkan bahwa kurikulum pendidikan, inisiatif pelatihan, program sertifikasi keahlian, dan praktik industri saat ini belum secara efektif menerjemahkan tingkat pentingnya kompetensi-kompetensi ini ke dalam tingkat kinerja pengembangan SDM [18]. Kesenjangan ini berpotensi menghambat transisi Indonesia menuju ekonomi hijau, karena kompetensi-kompetensi ini merupakan pilar dasar konstruksi berkelanjutan.

Skor kepentingan yang tinggi (berkisar antara 4,61 hingga 4,64) menunjukkan konsensus yang kuat di antara akademisi, praktisi dan industri konstruksi mengenai pentingnya keterampilan ini. Namun, defisit kinerja menyiratkan hambatan signifikan dalam implementasinya. Variabel BIM untuk keberlanjutan, kesenjangan tersebut mungkin berasal dari tingginya biaya perangkat lunak, terbatasnya akses ke pelatihan khusus, dan kurangnya protokol standar untuk penerapannya dalam analisis keberlanjutan [14]. Demikian pula, untuk *Zero energy/low emission building systems*, ketertinggalan kinerja dapat dikaitkan dengan investasi awal yang dianggap tinggi, kompleksitas teknologi, dan rantai pasokan yang masih baru untuk komponen energi terbarukan di industri konstruksi lokal [10]. Kekurangan dalam Penguasaan Teknologi *Green Building* kemungkinan mencerminkan kesenjangan antara

pengetahuan teoretis yang diperoleh di dunia akademis dan keterampilan praktis terapan yang dibutuhkan di lapangan, diperparah oleh kurangnya sertifikasi bangunan hijau yang tersebar luas di kalangan profesional [19].

Strategi Pengembangan Berbasis Prioritas Kuadran I

Menangani kekurangan di Kuadran I memerlukan pendekatan dari berbagai pelatihan umum. Adapun beberapa usulan strategi terarah berbasis prioritas kuadran I adalah sebagai berikut:

Penguasaan Teknologi Green Building

Mengembangkan Modul Pelatihan Lanjutan dan Tertsertifikasi: Berkolaborasi dengan badan profesional (misalnya, Lembaga Sertifikasi Profesi - LSP), dewan bangunan hijau (GBCI), Kementerian PUPR dan lembaga pelatihan/ perguruan tinggi untuk menyusun kurikulum bagi para profesional bangunan hijau tersertifikasi. Kurikulum ini harus sangat praktis, berfokus pada pemodelan energi, strategi desain pasif, dan penerapan material lokal berkelanjutan, yang melampaui pengetahuan teoretis [7].

Mewajibkan Kepatuhan Hijau dalam Lelang Publik: Pemerintah harus memimpin dengan memberi contoh Mengintegrasikan sertifikasi bangunan hijau wajib (misalnya, BGH) dan kompetensi teknis yang teruji dalam teknologi hijau sebagai prasyarat untuk memenangkan kontrak konstruksi publik akan menciptakan daya tarik pasar yang kuat, yang mendorong perusahaan untuk berinvestasi dalam peningkatan keterampilan tenaga kerja [20].

Zero energy/low emission building systems

Pembinaan kemitraan publik-swasta untuk transfer teknologi melalui membangun kemitraan antara pemerintah, lembaga pembangunan internasional, dan perusahaan teknologi swasta untuk memfasilitasi akses dan pelatihan teknologi rendah emisi. Hal ini dapat mencakup subsidi untuk proyek retrofit, pembuatan proyek demonstrasi, dan pengembangan pedoman teknis yang disesuaikan dengan konteks Indonesia [10].

Integrasikan pendidikan energi terbarukan ke dalam kurikulum inti teknik: universitas dan sekolah kejuruan harus segera memperbarui silabus pendidikan untuk memasukkan mata kuliah khusus tentang energi terbarukan yang terintegrasi dengan bangunan (panel surya, tenaga angin), sistem efisiensi energi, dan akuntansi karbon, memastikan lulusan yang baru memasuki dunia kerja dengan keterampilan penting ini [21].

Building Information Modelling (BIM) untuk keberlanjutan

Mengembangkan pustaka dan templat BIM akses terbuka untuk keberlanjutan: sebuah inisiatif nasional harus diluncurkan untuk membuat dan menyebarkan pustaka objek BIM standar yang telah dikonfigurasi sebelumnya untuk analisis keberlanjutan (misalnya, LCA, simulasi energi). Hal ini menurunkan hambatan masuk bagi usaha kecil dan menengah (UKM) [14].

Promosikan Model Pengadaan Kolaboratif Berbasis BIM: Dorong pemilik proyek, terutama di infrastruktur publik, untuk mengadopsi model pengadaan yang mewajibkan penyampaian proyek kolaboratif berbasis BIM sejak tahap desain. Hal ini mendorong keterlibatan awal kontraktor dan konsultan, memastikan tujuan keberlanjutan tertanam dan dapat dicapai, sehingga mengurangi konflik desain dan kesenjangan kinerja [22].

Implikasi Teoretis dan Praktis

Secara teoretis, studi ini memperkuat manfaat model IPA dalam konteks pengembangan sumber daya manusia hijau dan perencanaan pendidikan insinyur sipil. Studi ini menyediakan metode empiris untuk mengidentifikasi kesenjangan keterampilan, dan memprioritaskan kepada semua pemangku kepentingan, sehingga mengoptimalkan alokasi SDM untuk mengembangkan pendidikan dan pelatihan green jobs [21].

Dari perspektif praktis, temuan ini menawarkan peta jalan yang jelas dan langsung bagi para pembuat kebijakan, lembaga pendidikan, dan departemen pelatihan perusahaan. Strategi yang diusulkan meliputi pelatihan praktis bersertifikat, insentif regulasi, transfer teknologi, dan modernisasi kurikulum serta memberikan rencana aksi yang nyata. Berinvestasi di bidang-bidang prioritas ini bukan sekadar tujuan pendidikan, tetapi juga keharusan ekonomi untuk membangun tenaga kerja yang kompeten dan percaya diri yang mampu mendorong pembangunan berkelanjutan, memenuhi komitmen iklim Indonesia, dan meningkatkan daya saing global industri konstruksinya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis *Importance-Performance Analysis* (IPA), penelitian ini menyimpulkan bahwa terdapat kesenjangan signifikan antara tingkat kepentingan dan kinerja aktual dari kompetensi teknis Green Job di industri konstruksi Indonesia. Tiga variabel prioritas utama yang memerlukan intervensi segera adalah: (i) Penguasaan Teknologi Green Building, (ii) Zero Energy/Low

Emission Building Systems, dan (iii) Building Information Modeling (BIM) untuk Keberlanjutan. Kesenjangan ini mengindikasikan bahwa meskipun para pemangku kepentingan menyadari urgensi dari kompetensi-kompetensi tersebut, implementasinya masih terhambat oleh faktor-faktor seperti keterbatasan akses pelatihan, tingginya biaya teknologi, dan kurangnya standarisasi kebijakan. Strategi yang diusulkan, seperti pelatihan tersertifikasi, integrasi persyaratan hijau dalam pengadaan pemerintah, dan kolaborasi publik-swasta, diharapkan dapat mempercepat pengembangan kompetensi ini. Temuan penelitian ini menekankan perlunya pendekatan sistematis dan terpadu untuk membangun SDM yang kompeten dalam mendukung transisi menuju konstruksi berkelanjutan di Indonesia.

Saran dan Rekomendasi

Seharusnya pemerintah mulai merancang dan menerapkan regulasi khusus yang mewajibkan sertifikasi kompetensi *Green Job* bagi tenaga kerja konstruksi, serta memasukkan kriteria bangunan hijau sebagai persyaratan dalam tender proyek pemerintah. Selain itu pemerintah juga harus membentuk kemitraan dengan lembaga internasional dan swasta untuk memfasilitasi transfer teknologi dan pendanaan proyek percontohan (pilot projects) berbasis zero-emission dan BIM.

Institusi pendidikan dan pelatihan segera mengintegrasikan kurikulum berbasis *sustainability* di program studi keteknikan, dengan fokus pada penerapan BIM, teknologi energi terbarukan, dan prinsip ekonomi sirkular. Selain itu juga menyediakan pelatihan bersertifikat yang accessible bagi profesional konstruksi untuk meningkatkan keterampilan praktis dalam penguasaan teknologi hijau.

Industri konstruksi didorong untuk berinvestasi dalam pengembangan SDM melalui program pelatihan berkelanjutan dan adopsi teknologi terkini untuk meningkatkan kinerja dalam bidang-bidang prioritas serta mendorong kolaborasi antar-pemangku kepentingan (kontraktor, konsultan, akademisi) dalam penerapan BIM dan praktik konstruksi hijau untuk mengurangi kesenjangan antara desain dan implementasi.

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan cakupan wilayah dan sampel yang lebih luas untuk memvalidasi temuan ini serta meneliti faktor-faktor penghambat implementasi kompetensi Green Job secara mendalam, termasuk aspek finansial, teknis, dan budaya kerja.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Jember atas bantuan dana hibah yang diberikan untuk penelitian ini. Dukungan pendanaan ini

sangat penting bagi efektivitas pelaksanaan penelitian ini dan pencapaian tujuan penelitian.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Mahardika, R. P. Dewanti, dan A. Subagyo, "Strategi Green Construction dalam Konstruksi Berkelanjutan Untuk Bangunan Gedung Ramah Lingkungan Dan Ekonomis di Indonesia," *Metta : Jurnal Ilmu Multidisiplin*, vol. 5, no. 2, hlm. 52–61, 2025, doi: 10.37329/metta.v5i2.4092.
- [2] Kementerian PUPR, "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2021 Tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau," <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/217002/permen-pupr-no-21-tahun-2021>, hlm. 1–297, 2021.
- [3] J. Gu, F. Guo, X. Peng, dan B. Wang, "Green and Sustainable Construction Industry: A Systematic Literature Review of the Contractor's Green Construction Capability," *Buildings*, vol. 13, no. 2, hlm. 470, 2023, doi: 10.3390/buildings13020470.
- [4] R. Dewi dan A. Ma'ruf, "Analisis Penciptaan Green Jobs (Pekerjaan Hijau) di Indonesia Menggunakan Model Skenario Investasi Hijau," *Journal of Economics Research and Social Sciences*, vol. 1, no. 1, hlm. 53–64, 2017.
- [5] T. J. W. Adi dan P. Wibowo, "Application of circular economy in the Indonesia construction industry," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 849, no. 1, hlm. 12049, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/849/1/012049.
- [6] L. Xie, Y. Chen, B. Xia, dan C. Hua, "Importance-Performance Analysis of Prefabricated Building Sustainability: A Case Study of Guangzhou," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, no. 1, hlm. 1–17, 2020, doi: <https://doi.org/10.1155/2020/8839118> Research.
- [7] E. Otchere-Darko, "Redefining green roof systems with climbers: simulation of a conceptual model for thermal-radiative performance and plant vitality," *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 43, no. 3, hlm. 528–547, 2025, doi: 10.1108/IJBPA-05-2022-0083.
- [8] M. M. Sesana, "Life Cycle Assessment and Datasets Development of Steel Construction Products for the Italian LCA Database," *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 612, hlm. 694–707, 2025, doi: 10.1007/978-3-031-71867-0_47.
- [9] D. Mpiere, "Promoting Urban Sustainability Through the Local Production of Ecological Paving Stones and Green Coal," dalam *Circular Economy and Sustainability*, I. N. PhD, Ed., Switzerland: Springer Nature Link, 2025, doi: 10.1007/s43615-025-00585-5.
- [10] T. Błaszczyński, "Smart Building Center as the First Prototype Zero-Energetic and Zero-Emission Office and Production Facility in Europe," *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 418, hlm. 457–466, 2025, doi: 10.1007/978-981-97-9400-3_48.
- [11] A. Lakhout, "Enhancing environmental benefits through recycling glass to improve soil properties and concrete," *Cleaner Waste Systems*, vol. 11, no. 100301, 2025, doi: 10.1016/j.clwas.2025.100301.
- [12] D. P. N. Kontoni, "Gene Expression Programming (GEP) Modelling of Sustainable Building Materials including Mineral Admixtures for Novel Solutions," *Mining*, vol. 2, no. 4, hlm. 629–653, 2022, doi: 10.3390/mining2040034.
- [13] L. Xu, "Towards greening construction management tertiary education," *Applied Sciences Switzerland*, vol. 15, no. 11, 2025, doi: 10.3390/app15116277.
- [14] A. A. Akanmu, C. J. Anumba, dan O. O. Ogunseiju, "Towards next generation cyber-physical systems and digital twins for construction," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 26, hlm. 505–525, 2021, doi: 10.36680/j.itcon.2021.027.
- [15] I. A. Frimpong, X. Jin, R. O. Kyei, A. K. Agyekum, J. Taden, dan A. B. Amoakwa, "A Meta-analysis of Climate Risk Mitigation Strategies in the Construction Sector," *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 591, hlm. 75–86, 2025, doi: 10.1007/978-981-96-4051-5_8.
- [16] M. Signorini dan A. P. Pome, "Shaping the future of facility management. Market and literature insights on digital twin adoption," *Facilities*, vol. 43, no. 11–12, hlm. 818–834, 2025, doi: 10.1108/F-02-2025-0029.
- [17] J. McCoy, D. Davis, E. Mayfield, dan M. J. Brear, "Labour implications of the net-zero transition and clean energy exports in Australia," *Energy Res Soc Sci*, vol. 112, no.

- 103506, 2024, doi:
10.1016/j.erss.2024.103506.
- [18] M.-R. Stanef-Puică, L. Badea, G.-L. Șerban-Opreșcu, A.-T. Șerban-Opreșcu, L.-G. Frâncu, dan A. Crețu, “Green Jobs—A Literature Review,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 13, 2022, doi: 10.3390/ijerph19137998.
- [19] J. C. X. Linggo dan A. Sutandi, “Identifikasi Tantangan Dalam Penerapan Green Building Di Jakarta,” *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 6, no. 4, hlm. 907–912, 2023, doi: 10.24912/jmts.v6i4.24964.
- [20] Kementerian PUPR, “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2021 Tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau,” <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/217002/permen-pupr-no-21-tahun-2021>, hlm. 1–297, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/217002/permen-pupr-no-21-tahun-2021>
- [21] Z. Vranayova dan D. Kaposztasova, “Educational Transformation: The Influence of Green Building Technologies,” *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 604, hlm. 589–601, 2024, doi: 10.1007/978-3-031-67576-8_55.
- [22] A. R. Firmansyah, J. W. Soetjipto, dan R. U. A. Wiyono, “Redesain Perancangan Gedung untuk Memenuhi Standar Bangunan Gedung Hijau Berkelanjutan Berbasis BIM,” *Journal of Ikatan Ahli Manajemen Proyek Indonesia*, vol. 02, no. 1, hlm. 13–27, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.unej.ac.id/JIAMPI/issue/archive>