

Rekayasa Nilai Berkelanjutan: Pengembangan Alternatif Konstruksi dengan Memperhatikan Aspek Kelestarian Lingkungan

Dosen Pengasuh: Dr. Ir. Budi Susetyo, MT

Sederhana Gulo



Daftar Isi

Pendahuluan	1
Latar Belakang	1
Rumusan Masalah	2
Pertanyaan Penelitian	2
Tujuan Penelitian	3
Batasan Penelitian	3
Tinjauan Pustaka	4
Konsep <i>Sustainable Development</i>	4
Definisi dan Pilar-Pilar <i>Sustainable Development</i>	4
Relevansi <i>Sustainable Development</i> dengan Sektor Konstruksi	5
Indikator dan Metrik Keberlanjutan dalam Konstruksi	6
Rekayasa Nilai	8
Definisi dan Prinsip-Prinsip Rekayasa Nilai	8
Tahapan-Tahapan dalam Proses Rekayasa Nilai	9
Manfaat dan Tantangan Penerapan Rekayasa Nilai	10
Integrasi Aspek Kelestarian Lingkungan dalam Konstruksi	12
Hubungan antara Rekayasa Nilai dan <i>Sustainable Development</i>	13
Peluang dan Tantangan Integrasi Rekayasa Nilai dan <i>Sustainable Development</i>	14
Metodologi Penelitian	15
Jenis Penelitian	15
Sumber Data	15
Teknik Pengumpulan Data	15
Teknik Analisis Data	15
Hasil dan Pembahasan	16
Prinsip-Prinsip <i>Sustainable Development</i> dalam Konstruksi	16
Prinsip-Prinsip Sustainable Development dalam Konstruksi	16
Kerangka Kerja Penerapan Rekayasa Nilai Berkelanjutan	17

Studi Kasus/Contoh Penerapan	19
Penggunaan Bahan Bangunan Hijau	19
Implementasi Alat Desain Ramah Lingkungan	19
Adopsi Prinsip Ekonomi Sirkular	19
Efisiensi Energi dan Teknologi Pengurangan Emisi	20
Praktik Konstruksi Lean	20
Pembangunan Perkotaan Berkelanjutan	20
Penggunaan Deklarasi Produk Lingkungan (EPD)	20
Integrasi Sumber Energi Terbarukan	21
Pengelolaan Air Berkelanjutan	21
Ketahanan dan Adaptasi terhadap Perubahan Iklim	21
Analisis Studi Kasus Sejenis (Rachwan dkk., 2016)	21
<i>The influence of value engineering and sustainability considerations on the project value</i> (Rachwan dkk., 2016)	21
Studi Kasus Sejenis	22
Kesimpulan dan Saran	28
Kesimpulan	28
Implikasi Penelitian	29
Saran	29
Daftar Pustaka	30

Daftar Tabel

1	Metode penilaian value engineering.	22
2	Analisis studi kasus sejenis	23

Pendahuluan

Latar Belakang

Kebutuhan infrastruktur dan bangunan yang terus meningkat diiringi dengan isu-isu lingkungan global seperti perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan penipisan sumber daya. Pembangunan infrastruktur dan konstruksi membutuhkan peningkatan permintaan produksi material (semen, baja, kayu, dan aluminium) yang meningkatkan penggunaan energi dan menghasilkan emisi CO₂ yang lebih tinggi. Selain itu, pembangunan infrastruktur juga terkait dengan beberapa masalah lingkungan, seperti deplesi sumber daya alam, perubahan iklim, dan emisi CO₂ (Rashid dkk., 2011; Razzaq dkk., 2021).

Perubahan iklim dan dampaknya terhadap keamanan nasional, seperti banjir, badai, kekeringan, dan kenaikan permukaan laut, dapat menyebabkan degradasi lingkungan, deplesi sumber daya, migrasi besar-besaran, penyebaran penyakit, dan meningkatnya kompetisi untuk sumber daya bumi (Rashid dkk., 2011). Selain itu, pembangunan infrastruktur juga dapat menimbulkan *trade-offs* antara pertumbuhan ekonomi dan konservasi lingkungan (Alamgir dkk., 2017; Vilela dkk., 2020). Meskipun ada kesadaran global dan upaya multilateral, pembangunan infrastruktur yang tidak tepat dapat menyebabkan kelebihan biaya, korupsi, dan dampak lingkungan yang serius (Alamgir dkk., 2017). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih strategis dan multi sektoral untuk investasi infrastruktur hijau (*Ecological Infrastructure*) guna mencapai prioritas ekonomi dan sosial-ekologis (Cumming dkk., 2017).

Sektor konstruksi merupakan salah satu kontributor utama pembangunan ekonomi nasional. Namun di sisi lain, proses konstruksi serta penggunaan fasilitas infrastruktur dan bangunan juga menjadi penyumbang emisi gas CO₂ dan mengkonsumsi energi yang cukup besar. Inventarisasi dampak lingkungan akibat berbagai aktivitas konstruksi menunjukkan bahwa sektor ini berkontribusi signifikan terhadap permasalahan lingkungan global (Rashid dkk., 2011; Razzaq dkk., 2021).

Konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) telah menjadi kerangka acuan penting dalam pembangunan infrastruktur dan konstruksi yang memperhatikan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan (Amiril dkk., 2018; Hendricks dkk., 2018; Schaltegger dkk., 2015). Pembangunan berkelanjutan didefinisikan sebagai “pembangunan yang memenuhi kebutuh-

an saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri” (Amiril dkk., 2018).

Rekayasa Nilai (RN) merupakan metodologi yang efektif untuk meningkatkan nilai suatu proyek konstruksi dengan mempertimbangkan aspek biaya, mutu, dan waktu. Namun, untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan, penting bagi proses RN untuk juga mengintegrasikan aspek kelestarian lingkungan (Ahmed dkk., 2019; Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).

Pada tahap pengembangan alternatif dalam proses RN, alternatif-alternatif yang dihasilkan harus dievaluasi tidak hanya berdasarkan kriteria biaya, mutu, dan waktu, tetapi juga berdasarkan kriteria keberlanjutan lingkungan. Penggunaan material ramah lingkungan, peningkatan efisiensi energi, dan integrasi infrastruktur hijau dapat menjadi solusi untuk mengurangi dampak lingkungan dari proyek konstruksi. Dengan mengintegrasikan aspek kelestarian lingkungan ke dalam proses RN, proyek konstruksi dapat menghasilkan solusi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan (Ahmed dkk., 2019; Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi alternatif konstruksi yang memperhatikan aspek kelestarian lingkungan, dengan mempertimbangkan kebutuhan infrastruktur dan bangunan yang terus meningkat serta isu-isu lingkungan global. Hal ini dilakukan melalui rekayasa nilai berkelanjutan, yang mencakup aspek-aspek seperti penggunaan material ramah lingkungan, efisiensi energi, dan integrasi infrastruktur hijau.

Rumusan Masalah

Bagaimana penerapan Rekayasa Nilai dapat dioptimalkan untuk mengembangkan alternatif konstruksi yang berkelanjutan, selaras dengan prinsip-prinsip *sustainable development*?

Pertanyaan Penelitian

- Apa saja prinsip-prinsip *sustainable development* yang relevan dengan sektor konstruksi?
- Bagaimana tahapan Rekayasa Nilai dapat diadaptasi untuk mengintegrasikan aspek kelestarian lingkungan?
- Alternatif-alternatif apa yang dapat dikembangkan melalui Rekayasa Nilai yang berkontribusi pada *sustainable development* dalam konstruksi?

Tujuan Penelitian

- Mengidentifikasi prinsip-prinsip *sustainable development* yang relevan dengan konstruksi.
- Mengembangkan kerangka kerja penerapan RN yang mengintegrasikan aspek kelestarian lingkungan.
- Menganalisis studi kasus penerapan RN berkelanjutan dalam proyek konstruksi.

Batasan Penelitian

Penelitian ini berfokus pada penerapan Rekayasa Nilai dalam konteks konstruksi bangunan/infrastruktur, dengan penekanan pada pengembangan alternatif yang memperhatikan aspek lingkungan.

Tinjauan Pustaka

Konsep *Sustainable Development*

Definisi dan Pilar-Pilar *Sustainable Development*

Konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) telah menjadi kerangka acuan penting dalam pembangunan infrastruktur dan konstruksi yang memperhatikan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan (Amiril dkk., 2018; Hendricks dkk., 2018; Schaltegger dkk., 2015). Pembangunan berkelanjutan didefinisikan sebagai “pembangunan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri” (Amiril dkk., 2018).

Prinsip-prinsip utama pembangunan berkelanjutan mencakup peningkatan kualitas hidup dan kesehatan masyarakat serta mendukung sistem yang menyediakan sumber daya alam bagi suatu negara. Pembangunan berkelanjutan juga menekankan perlunya keseimbangan antara tiga pilar utama, yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan, agar pembangunan dapat berlanjut dalam jangka panjang.

Pilar ekonomi dalam pembangunan berkelanjutan mencakup pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan. Pilar sosial meliputi pemerataan sosial, pengentasan kemiskinan, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Sementara itu, pilar lingkungan berkaitan dengan konservasi sumber daya alam, pengurangan emisi, dan mitigasi dampak perubahan iklim. Ketiga pilar ini saling terkait dan harus diintegrasikan secara seimbang untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan. Pembangunan yang hanya berfokus pada satu atau dua pilar saja tidak akan mencapai keberlanjutan dalam jangka panjang.

Secara garis besar cakupan pilar-pilar utama pembangunan berkelanjutan yang terdiri atas tiga dimensi tersebut di atas antara lain:

1. Dimensi Ekonomi:

- Pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan
- Efisiensi penggunaan sumber daya
- Inovasi teknologi yang ramah lingkungan
- Pengembangan infrastruktur yang berkelanjutan

2. Dimensi Sosial:

- Pemerataan sosial dan pengurangan kemiskinan
- Peningkatan kualitas hidup dan kesejahteraan masyarakat
- Pemberdayaan masyarakat dan partisipasi pemangku kepentingan
- Keadilan dan inklusi sosial

3. Dimensi Lingkungan:

- Konservasi sumber daya alam dan keanekaragaman hayati
- Pengurangan emisi gas rumah kaca dan mitigasi perubahan iklim
- Pengelolaan limbah dan polusi yang efektif
- Peningkatan efisiensi energi dan penggunaan energi terbarukan

Ketiga pilar ini saling terkait dan harus dicapai secara seimbang untuk mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan dalam jangka panjang (Amiril dkk., 2018; Hendricks dkk., 2018; Schaltegger dkk., 2015). Pembangunan berkelanjutan juga menekankan perlunya memenuhi kebutuhan generasi saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri (Amiril dkk., 2018).

Relevansi *Sustainable Development* dengan Sektor Konstruksi

Konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) memiliki relevansi yang sangat penting dengan sektor konstruksi. Sektor konstruksi merupakan salah satu kontributor utama pembangunan ekonomi, namun di sisi lain juga menjadi penyumbang emisi gas CO₂ dan konsumsi energi yang cukup besar.

Prinsip-prinsip utama pembangunan berkelanjutan mencakup tiga pilar, yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan (Amiril dkk., 2018; Hendricks dkk., 2018; Schaltegger dkk., 2015). Dalam konteks sektor konstruksi, pembangunan berkelanjutan dapat diwujudkan melalui berbagai upaya, antara lain:

1. Dimensi Ekonomi:

- Pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan melalui pembangunan infrastruktur yang efisien
- Efisiensi penggunaan sumber daya dan material konstruksi
- Inovasi teknologi konstruksi yang ramah lingkungan

2. Dimensi Sosial:

- Pemerataan sosial dan pengurangan kemiskinan melalui penyediaan infrastruktur yang terjangkau

- Peningkatan kualitas hidup dan kesejahteraan masyarakat melalui pembangunan yang responsif terhadap kebutuhan masyarakat
- Pemberdayaan masyarakat dan partisipasi pemangku kepentingan dalam proses pembangunan

3. Dimensi Lingkungan:

- Konservasi sumber daya alam dan keanekaragaman hayati melalui penggunaan material ramah lingkungan
- Pengurangan emisi gas rumah kaca dan mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan efisiensi energi
- Pengelolaan limbah dan polusi yang efektif dalam proses konstruksi

Penerapan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan dalam sektor konstruksi dapat diwujudkan melalui berbagai inisiatif, seperti pengembangan sistem penilaian keberlanjutan (*sustainability rating systems*) (Allen dkk., 2010; Amaral & Abraham, 2020; Sandanayake dkk., 2022), inovasi teknologi konstruksi ramah lingkungan (Ahmed dkk., 2019; Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021), dan integrasi infrastruktur hijau (Ahmed dkk., 2019). Dengan demikian, konsep pembangunan berkelanjutan memiliki relevansi yang sangat penting dengan sektor konstruksi, karena mampu mendorong pembangunan infrastruktur yang lebih efisien, inklusif, dan ramah lingkungan. Penerapan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan dalam sektor konstruksi dapat memberikan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan yang berkelanjutan dalam jangka panjang.

Indikator dan Metrik Keberlanjutan dalam Konstruksi

Konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) telah menjadi kerangka acuan penting dalam sektor konstruksi, yang menekankan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan (Amiril dkk., 2018; Hendricks dkk., 2018; Schaltegger dkk., 2015). Untuk mengukur dan mengevaluasi kinerja keberlanjutan dalam proyek konstruksi, berbagai indikator dan metrik keberlanjutan telah dikembangkan, antara lain:

1. Sistem Penilaian Keberlanjutan (*Sustainability Rating Systems*) (Marchi dkk., 2021):

- LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*)
- BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*)
- Green Building Council Indonesia (GBCI)
- CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*)
- Green Star

Sistem penilaian ini menggunakan indikator-indikator terkait aspek-aspek seperti efisiensi energi, penggunaan air, pemilihan material, kualitas lingkungan dalam ruangan, dan inovasi

desain. Sistem ini membantu mendorong adopsi metrik, solusi, dan nilai keberlanjutan di kalangan pemerintah, pengembang, dan pengguna akhir (Marchi dkk., 2021).

2. Indikator Keberlanjutan Berbasis *Life Cycle Assessment* (LCA) (Sameer & Bringezu, 2019):

- Indikator penggunaan sumber daya alam dan energi
- Indikator emisi gas rumah kaca dan polusi
- Indikator dampak lingkungan lainnya (seperti keanekaragaman hayati, penggunaan lahan, dan limbah)

Pendekatan LCA memungkinkan penilaian dampak lingkungan secara komprehensif, mulai dari ekstraksi bahan baku, produksi, konstruksi, operasi, hingga akhir masa pakai (López dkk., 2023).

3. Indikator Keberlanjutan Berbasis Kinerja (Arredondo-Ruiz dkk., 2020; Ijigah dkk., 2023; Willar dkk., 2020):

- Indikator efisiensi energi (seperti konsumsi energi per m²)
- Indikator penggunaan air (seperti konsumsi air per m²)
- Indikator emisi karbon (seperti emisi CO₂ per m²)
- Indikator kesehatan dan keselamatan kerja
- Indikator kepuasan pengguna

Indikator-indikator ini memungkinkan pengukuran kinerja keberlanjutan secara kuantitatif selama fase konstruksi maupun operasional (Arredondo-Ruiz dkk., 2020; Ijigah dkk., 2023).

4. Indikator Keberlanjutan Berbasis Proses (Ahmed dkk., 2019; Lin dkk., 2022; Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021; Willar dkk., 2020):

- Indikator penggunaan material ramah lingkungan
- Indikator efisiensi proses konstruksi (seperti pengurangan limbah, daur ulang, dan efisiensi waktu)
- Indikator integrasi infrastruktur hijau
- Indikator manajemen proyek berwawasan lingkungan

Indikator-indikator ini berfokus pada praktik-praktik konstruksi yang berkelanjutan selama proses pembangunan.

Dengan menggunakan berbagai indikator dan metrik keberlanjutan, proyek konstruksi dapat dievaluasi dan diukur kinerjanya dalam mencapai pembangunan yang berkelanjutan. Hal ini membantu mendorong adopsi solusi dan praktik konstruksi yang lebih ramah lingkungan, efisien, dan responsif terhadap kebutuhan sosial.

Rekayasa Nilai

Definisi dan Prinsip-Prinsip Rekayasa Nilai

Rekayasa Nilai (RN) atau *Value Engineering/Value Analysis* merupakan metodologi sistematis yang bertujuan untuk meningkatkan nilai suatu proyek dengan mempertimbangkan aspek biaya, mutu, dan waktu (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010; Mousakhani dkk., 2017). Definisi RN menurut *The Society of American Value Engineers* (SAVE) adalah “suatu fungsi yang terorganisir dan kreatif, yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan biaya yang tidak perlu untuk meningkatkan nilai suatu produk atau jasa” (W. Chen dkk., 2010).

Prinsip-prinsip utama Rekayasa Nilai (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010; Mousakhani dkk., 2017) mencakup:

1. Memaksimalkan nilai dengan meminimalkan biaya:
 - RN berfokus pada peningkatan nilai dengan mempertimbangkan keseimbangan antara biaya, mutu, dan waktu.
 - Tujuannya adalah mengidentifikasi dan menghilangkan biaya yang tidak perlu, serta meningkatkan fungsi dan kinerja proyek.
2. Analisis fungsi:
 - RN menggunakan analisis fungsi untuk memahami dan mengevaluasi fungsi suatu produk atau jasa.
 - Analisis fungsi dilakukan untuk mengidentifikasi fungsi-fungsi yang penting dan menghilangkan fungsi yang tidak perlu.
3. Pendekatan kreatif dan inovatif:
 - RN melibatkan proses brainstorming dan kreativitas untuk menghasilkan ide-ide alternatif yang inovatif.
 - Alternatif-alternatif yang dihasilkan dievaluasi berdasarkan kriteria biaya, mutu, dan waktu.
4. Kerja tim multi disiplin:
 - RN melibatkan tim multi disiplin yang terdiri dari berbagai pemangku kepentingan, seperti perancang, kontraktor, dan pengguna.
 - Kolaborasi tim ini penting untuk menghasilkan solusi yang optimal.

Dengan menerapkan prinsip-prinsip RN, proyek konstruksi dapat menghasilkan solusi yang lebih efektif dan efisien, serta meningkatkan nilai proyek secara keseluruhan (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).

Tahapan-Tahapan dalam Proses Rekayasa Nilai

Rekayasa Nilai (RN) atau *Value Engineering* merupakan metodologi sistematis yang terdiri dari beberapa tahapan untuk meningkatkan nilai suatu proyek dengan mempertimbangkan aspek biaya, mutu, dan waktu. Tahapan-tahapan dalam proses Rekayasa Nilai (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010; Mou-sakhani dkk., 2017) adalah sebagai berikut:

1. Tahap Umum (*General Phase*):

- Memahami tujuan dan ruang lingkup proyek secara keseluruhan.
- Mengidentifikasi pemangku kepentingan utama dan memastikan keterlibatan mereka dalam proses RN.
- Menetapkan tim RN yang terdiri dari berbagai disiplin ilmu, seperti perancang, kontraktor, dan pengguna.

2. Tahap Informasi (*Information Phase*):

- Mengumpulkan data dan informasi terkait proyek, seperti spesifikasi, biaya, dan jadwal.
- Memahami fungsi-fungsi utama dan persyaratan proyek.
- Mengidentifikasi masalah-masalah dan peluang perbaikan.

3. Tahap Analisis Fungsi (*Function Analysis Phase*):

- Menganalisis fungsi-fungsi proyek secara sistematis.
- Mengidentifikasi fungsi-fungsi yang penting dan fungsi-fungsi yang tidak perlu.
- Mengevaluasi biaya dan nilai dari setiap fungsi.

4. Tahap Kreatif (*Creative Phase*):

- Melakukan brainstorming untuk menghasilkan ide-ide alternatif yang inovatif.
- Mengembangkan alternatif-alternatif solusi yang dapat meningkatkan nilai proyek.
- Mempertimbangkan berbagai perspektif dan masukan dari tim multidisiplin.

5. Tahap Evaluasi (*Evaluation Phase*):

- Mengevaluasi alternatif-alternatif solusi berdasarkan kriteria biaya, mutu, dan waktu.
- Membandingkan biaya dan manfaat dari setiap alternatif.
- Mempertimbangkan aspek kelestarian lingkungan, seperti penggunaan material ramah lingkungan, efisiensi energi, dan integrasi infrastruktur hijau.

6. Tahap Pengembangan/Rekomendasi (*Development/Recommendation Phase*):

- Memilih alternatif terbaik yang dapat meningkatkan nilai proyek secara optimal.
- Mengembangkan rincian desain, spesifikasi, dan rencana implementasi untuk alternatif terpilih.

- Menyusun proposal untuk implementasi alternatif terpilih.
- Mempresentasikan proposal kepada pemangku kepentingan dan mendapatkan persetujuan.

7. Tahap Implementasi (*Implementation Phase*):

- Memantau dan mengevaluasi implementasi alternatif terpilih.
- Mengidentifikasi dan mengatasi masalah-masalah yang muncul selama implementasi.
- Memastikan bahwa alternatif terpilih dapat memberikan peningkatan nilai proyek secara berkelanjutan.

Dengan menerapkan tahapan-tahapan ini, proses RN dapat menghasilkan solusi yang lebih efektif dan efisien, serta meningkatkan nilai proyek konstruksi secara keseluruhan dengan mempertimbangkan aspek biaya, mutu, waktu, dan kelestarian lingkungan (Ahmed dkk., 2019; Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010; Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).

Manfaat dan Tantangan Penerapan Rekayasa Nilai

Penerapan Rekayasa Nilai (RN) atau *Value Engineering* dalam proyek konstruksi dapat memberikan berbagai manfaat, namun juga menghadapi beberapa tantangan. Berikut adalah penjelasan yang detail, akurat, dan komprehensif mengenai hal tersebut:

Manfaat Penerapan Rekayasa Nilai:

1. Peningkatan Nilai Proyek:

- RN berfokus pada peningkatan nilai proyek dengan mempertimbangkan keseimbangan antara biaya, mutu, dan waktu (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).
- Melalui analisis fungsi, kreativitas, dan evaluasi alternatif, RN dapat menghasilkan solusi yang lebih efektif dan efisien untuk meningkatkan nilai proyek (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).

2. Pengurangan Biaya:

- RN bertujuan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan biaya yang tidak perlu, sehingga dapat mengurangi biaya proyek secara signifikan (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).
- Penerapan RN terbukti efektif dalam menurunkan biaya konstruksi tanpa mengorbankan kualitas (Maragara, 2023).

3. Peningkatan Kualitas:

- Dengan menganalisis fungsi-fungsi proyek, RN dapat mengidentifikasi dan meningkatkan fungsi-fungsi yang penting (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).
- Hal ini dapat meningkatkan kualitas dan kinerja proyek secara keseluruhan (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).

4. Percepatan Waktu Penyelesaian:

- RN dapat menghasilkan solusi yang lebih efisien, sehingga dapat mempercepat waktu penyelesaian proyek (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).
- Hal ini dapat memberikan manfaat ekonomi dan operasional yang signifikan bagi pemangku kepentingan (Lu dkk., 2013).

5. Peningkatan Kepuasan Pemangku Kepentingan:

- Dengan mempertimbangkan kebutuhan dan preferensi pemangku kepentingan, RN dapat menghasilkan solusi yang lebih sesuai dengan harapan mereka (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).
- Hal ini dapat meningkatkan kepuasan dan dukungan pemangku kepentingan terhadap proyek (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).

Tantangan Penerapan Rekayasa Nilai:

1. Resistensi Terhadap Perubahan:

- Perubahan yang diusulkan oleh Rekayasa Nilai dapat menimbulkan resistensi dari pihak-pihak yang terbiasa dengan pendekatan tradisional (Maragara, 2023).
- Diperlukan upaya komunikasi dan sosialisasi yang efektif untuk meyakinkan pemangku kepentingan mengenai manfaat Rekayasa Nilai (Maragara, 2023).

2. Keterbatasan Sumber Daya:

- Penerapan Rekayasa Nilai membutuhkan sumber daya, seperti waktu, tenaga ahli, dan anggaran yang memadai (Maragara, 2023).
- Keterbatasan sumber daya dapat menjadi kendala dalam mengimplementasikan RN secara efektif (Maragara, 2023).

3. Kompleksitas Proyek:

- Proyek konstruksi yang kompleks dengan banyak pemangku kepentingan dapat menyulitkan proses RN (Maragara, 2023).
- Diperlukan kemampuan manajemen proyek yang baik untuk mengelola kompleksitas tersebut (Maragara, 2023).

4. Integrasi dengan Aspek Keberlanjutan:

- Meskipun RN dapat diintegrasikan dengan aspek kelestarian lingkungan, namun membutuhkan upaya tambahan untuk memastikan solusi yang dihasilkan benar-benar berkelanjutan (Razzaq dkk., 2021).
- Pemahaman dan komitmen tim RN terhadap prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan menjadi penting (Razzaq dkk., 2021).

Integrasi Aspek Kelestarian Lingkungan dalam Konstruksi

Sektor konstruksi memiliki peran penting dalam pembangunan ekonomi, namun di sisi lain juga menjadi salah satu kontributor utama terhadap permasalahan lingkungan global. Berbagai aktivitas konstruksi, mulai dari ekstraksi material, produksi, hingga penggunaan fasilitas infrastruktur dan bangunan, berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, deplesi sumber daya alam, dan degradasi lingkungan.

Untuk mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan, integrasi aspek kelestarian lingkungan dalam sektor konstruksi menjadi sangat penting. Beberapa upaya yang dapat dilakukan antara lain:

1. Penggunaan Material Konstruksi Berkelanjutan:

- Pemanfaatan material daur ulang, seperti agregat daur ulang, dapat mengurangi konsumsi sumber daya alam dan dampak lingkungan (Colangelo dkk., 2018; Turk dkk., 2015).
- Pemilihan material lokal dapat menurunkan emisi karbon akibat transportasi dan mendukung perekonomian lokal (Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).
- Contoh material berkelanjutan yang dapat digunakan antara lain beton ramah lingkungan, kayu bersertifikat, dan material berbasis limbah industri (Colangelo dkk., 2018; Turk dkk., 2015).

2. Peningkatan Efisiensi Energi dan Air dalam Bangunan:

- Desain bangunan yang optimal, memperhatikan orientasi, insulasi, dan sistem pencahayaan/penghawaan, dapat meningkatkan efisiensi energi (Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).
- Integrasi teknologi hemat energi, seperti panel surya, pompa panas, dan sistem ventilasi mekanis, dapat menurunkan konsumsi energi (Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).
- Pengelolaan air yang efisien, melalui daur ulang air, pemanenan air hujan, dan penggunaan peralatan hemat air, dapat mengurangi konsumsi air (Ahmed dkk., 2019).

3. Pengurangan Limbah Konstruksi:

- Perencanaan pengelolaan limbah konstruksi sejak awal, seperti pemilahan, daur ulang, dan pengolahan, dapat mengurangi jumlah limbah yang dibuang (Lin dkk., 2022).
- Penggunaan teknologi pengolahan limbah, seperti pengomposan dan insinerasi, dapat menurunkan dampak lingkungan dari limbah konstruksi (Yoshida dkk., 2013).
- Penerapan prinsip ekonomi sirkular, yang menekankan daur ulang, reuse, dan pengurangan limbah, dapat diterapkan dalam konstruksi (Lin dkk., 2022).

4. Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA):

- LCA dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari seluruh siklus hidup proyek konstruksi, mulai dari ekstraksi bahan baku, produksi, konstruksi, operasi, hingga akhir masa pakai (Levasseur dkk., 2010; Pramudianto, 2018).
- LCA dapat mengidentifikasi tahapan atau komponen yang memberikan dampak lingkungan terbesar, sehingga dapat dilakukan perbaikan (Levasseur dkk., 2010; Pramudianto, 2018).
- Perbandingan alternatif desain, material, atau teknologi konstruksi melalui LCA dapat membantu memilih solusi yang paling berkelanjutan (Švajlenka dkk., 2018).

Dengan mengintegrasikan aspek-aspek kelestarian lingkungan, seperti penggunaan material berkelanjutan, efisiensi energi dan air, pengurangan limbah, serta analisis LCA, proyek konstruksi dapat berkontribusi pada pembangunan yang lebih berkelanjutan.

Integrasi ini tidak hanya bermanfaat bagi lingkungan, tetapi juga dapat memberikan keuntungan ekonomi dan sosial dalam jangka panjang. Hal ini sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan yang menekankan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan (Amiril dkk., 2018; Hendricks dkk., 2018; Schaltegger dkk., 2015).

Hubungan antara Rekayasa Nilai dan *Sustainable Development*

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penerapan Rekayasa Nilai dapat berkontribusi pada pencapaian tujuan-tujuan pembangunan berkelanjutan dalam sektor konstruksi. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Müller dkk. (Müller dkk., 2013), yang mengkaji potensi RN dalam mengurangi emisi karbon dari pembangunan infrastruktur. Studi ini menemukan bahwa RN dapat menghasilkan solusi konstruksi yang lebih efisien secara energi dan material, sehingga menurunkan dampak lingkungan.

Selain itu, Ahmed dkk. (Ahmed dkk., 2019) meneliti bagaimana RN dapat diintegrasikan dengan konsep infrastruktur hijau (*blue-green infrastructure*) untuk mengatasi masalah pengelolaan air di perkotaan. Melalui RN, mereka berhasil mengembangkan rancangan infrastruktur yang memadukan ele-

men biru (air) dan hijau (vegetasi) untuk mencapai tujuan-tujuan keberlanjutan, seperti pengurangan risiko banjir, peningkatan kualitas air, dan peningkatan kenyamanan masyarakat.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Razzaq dkk. (Razzaq dkk., 2021) menunjukkan bahwa RN dapat berkontribusi pada pengurangan jejak material (material footprint) dan peningkatan inovasi hijau dalam sektor konstruksi. Melalui analisis fungsi dan pengembangan alternatif solusi yang lebih efisien, RN dapat membantu mengurangi konsumsi material dan mendorong adopsi teknologi konstruksi yang ramah lingkungan.

Peluang dan Tantangan Integrasi Rekayasa Nilai dan *Sustainable Development*

Peluang Integrasi

1. Rekayasa Nilai dapat membantu mengidentifikasi dan menghilangkan biaya yang tidak perlu, sehingga dapat dialokasikan untuk investasi pada solusi konstruksi yang lebih berkelanjutan (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).
2. Proses kreatif dan inovatif dalam RN dapat menghasilkan alternatif-alternatif desain, material, dan teknologi konstruksi yang lebih ramah lingkungan (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).
3. Analisis fungsi dalam RN dapat membantu mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).
4. Keterlibatan tim multi disiplin dalam RN dapat mendorong kolaborasi antar pemangku kepentingan untuk mencapai tujuan-tujuan keberlanjutan (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010).

Tantangan Integrasi

1. Resistensi terhadap perubahan dari pihak-pihak yang terbiasa dengan pendekatan tradisional (Maragara, 2023).
2. Keterbatasan sumber daya, seperti waktu, tenaga ahli, dan anggaran, yang dapat menghambat implementasi RN yang terintegrasi dengan aspek keberlanjutan (Maragara, 2023).
3. Kompleksitas proyek konstruksi dengan banyak pemangku kepentingan dapat menyulitkan proses RN yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan (Maragara, 2023).
4. Pemahaman dan komitmen tim RN terhadap prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan yang masih terbatas (Razzaq dkk., 2021).

Metodologi Penelitian

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian pustaka (*library research*).

Sumber Data

- Artikel jurnal ilmiah terindeks Scopus, Web of Science, dan database relevan lainnya.
- Buku teks, prosiding konferensi, dan laporan penelitian terkait.

Teknik Pengumpulan Data

Pencarian sistematis menggunakan kata kunci yang relevan (contoh: “*value engineering*,” “*sustainable construction*,” “*life cycle assessment*,” “*green building*,” “*alternative design*,” “*environmental impact*”).

Teknik Analisis Data

- Analisis konten untuk mengidentifikasi tema-tema penting dan pola-pola yang muncul dari literatur.
- Sintesis dan interpretasi data untuk menjawab pertanyaan penelitian dan mencapai tujuan penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Prinsip-Prinsip *Sustainable Development* dalam Konstruksi

Sektor konstruksi memiliki peran penting dalam pembangunan ekonomi, namun di sisi lain juga menjadi salah satu kontributor utama terhadap permasalahan lingkungan global. Berbagai aktivitas konstruksi, mulai dari ekstraksi material, produksi, hingga penggunaan fasilitas infrastruktur dan bangunan, berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, deplesi sumber daya alam, dan degradasi lingkungan. Oleh karena itu, penerapan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) dalam sektor konstruksi menjadi sangat penting.

Prinsip-Prinsip *Sustainable Development* dalam Konstruksi

1. Efisiensi Penggunaan Sumber Daya:

- Penggunaan material konstruksi yang efisien dan daur ulang dapat mengurangi konsumsi sumber daya alam (Colangelo dkk., 2018; Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021; Turk dkk., 2015).
- Desain bangunan yang optimal dapat meningkatkan efisiensi energi dan air selama fase operasional (Ahmed dkk., 2019; Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).
- Penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam pengelolaan limbah konstruksi dapat mengurangi dampak lingkungan (Lin dkk., 2022; Yoshida dkk., 2013).

2. Pengurangan Emisi dan Dampak Lingkungan:

- Pemilihan material konstruksi dengan emisi karbon rendah dapat menurunkan jejak karbon proyek (Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).
- Integrasi teknologi hemat energi dan energi terbarukan dapat mengurangi konsumsi energi dan emisi (Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).
- Analisis Life Cycle Assessment (LCA) dapat mengidentifikasi dan mengevaluasi dampak lingkungan selama siklus hidup proyek (Levasseur dkk., 2010; Pramudianto, 2018; Švajlenka dkk., 2018).

3. Penggunaan Material Berkelanjutan:

- Pemanfaatan material daur ulang dan material lokal dapat mengurangi konsumsi sumber daya alam dan emisi transportasi (Colangelo dkk., 2018; Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021; Turk dkk., 2015).
- Penggunaan material ramah lingkungan, seperti beton berkelanjutan dan kayu bersertifikat, dapat mengurangi dampak lingkungan (Colangelo dkk., 2018; Turk dkk., 2015).

4. Dampak Sosial-Ekonomi:

- Pembangunan infrastruktur yang inklusif dan terjangkau dapat meningkatkan akses masyarakat terhadap layanan dasar (Amiril dkk., 2018; Devonald dkk., 2022; Eizenberg & Jabareen, 2017; Hendricks dkk., 2018; Schaltegger dkk., 2015).
- Keterlibatan dan pemberdayaan masyarakat lokal dalam proses konstruksi dapat mendukung pembangunan yang responsif terhadap kebutuhan masyarakat (Amiril dkk., 2018; Devonald dkk., 2022; Eizenberg & Jabareen, 2017; Hendricks dkk., 2018; Schaltegger dkk., 2015).
- Inovasi teknologi konstruksi yang ramah lingkungan dapat menciptakan lapangan kerja dan mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan (Müller dkk., 2013; Razzaq dkk., 2021).

Penerapan prinsip-prinsip sustainable development dalam sektor konstruksi dapat memberikan manfaat ganda, yaitu meningkatkan efisiensi sumber daya, mengurangi dampak lingkungan, serta mendukung pembangunan yang inklusif dan berkelanjutan secara ekonomi dan sosial. Hal ini sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan yang menekankan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Kerangka Kerja Penerapan Rekayasa Nilai Berkelanjutan

Rekayasa Nilai (RN) atau *Value Engineering* merupakan metodologi sistematis yang bertujuan untuk meningkatkan nilai suatu proyek dengan mempertimbangkan aspek biaya, mutu, dan waktu (Bertolini, 2016; W. Chen dkk., 2010; Mousakhani dkk., 2017). Namun, untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan, penting bagi proses RN untuk juga mengintegrasikan aspek kelestarian lingkungan.

Berikut adalah adaptasi tahapan Rekayasa Nilai untuk mengintegrasikan aspek lingkungan:

1. Tahap Informasi (*Information Phase*):

- Mengumpulkan data dan informasi terkait proyek, seperti spesifikasi, biaya, jadwal, dan dampak lingkungan.
- Memahami fungsi-fungsi utama, persyaratan proyek, serta isu-isu lingkungan yang relevan.

- Mengidentifikasi peluang perbaikan untuk meningkatkan keberlanjutan proyek.

2. Tahap Analisis Fungsi (*Function Analysis Phase*):

- Menganalisis fungsi-fungsi proyek secara sistematis.
- Mengidentifikasi fungsi-fungsi yang penting dan fungsi-fungsi yang tidak perlu atau dapat digantikan dengan solusi yang lebih berkelanjutan.
- Mengevaluasi biaya dan nilai dari setiap fungsi, termasuk dampak lingkungannya.

3. Tahap Kreatif (*Creativity Phase*):

- Melakukan brainstorming untuk menghasilkan ide-ide alternatif yang inovatif dan ramah lingkungan.
- Mengembangkan alternatif-alternatif solusi konstruksi yang dapat mengurangi dampak lingkungan, seperti penggunaan material berkelanjutan, peningkatan efisiensi energi, dan integrasi infrastruktur hijau.
- Mempertimbangkan berbagai perspektif dan masukan dari tim multidisiplin yang memahami aspek keberlanjutan.

4. Tahap Evaluasi (*Evaluation Phase*):

- Mengevaluasi alternatif-alternatif solusi tidak hanya berdasarkan kriteria biaya, mutu, dan waktu, tetapi juga berdasarkan kriteria lingkungan, seperti penggunaan sumber daya, emisi, dan dampak ekologis.
- Membandingkan biaya, manfaat, dan dampak lingkungan dari setiap alternatif.

5. Tahap Pengembangan (*Development Phase*):

- Memilih alternatif terbaik yang dapat meningkatkan nilai proyek secara optimal dengan mempertimbangkan aspek keberlanjutan.
- Mengembangkan rincian desain, spesifikasi, dan rencana implementasi untuk alternatif terpilih, dengan memperhatikan aspek kelestarian lingkungan.
- Melakukan analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari alternatif terpilih secara komprehensif.

6. Tahap Presentasi (*Presentation Phase*):

- Menyusun proposal untuk implementasi alternatif terpilih yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan.
- Mempresentasikan proposal kepada pemangku kepentingan dan mendapatkan persetujuan.
- Memantau dan mengevaluasi implementasi alternatif terpilih, termasuk kinerja lingkungannya.

Dengan mengadaptasi tahapan RN untuk mengintegrasikan aspek lingkungan, proyek konstruksi dapat menghasilkan solusi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, serta meningkatkan nilai proyek secara keseluruhan.

Studi Kasus/Contoh Penerapan

Rekayasa nilai dalam proyek konstruksi melibatkan pengoptimalan proses desain dan konstruksi untuk mencapai hasil terbaik dalam hal biaya, kualitas, dan keberlanjutan. Ketika diterapkan pada keberlanjutan lingkungan, rekayasa nilai dapat secara signifikan berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi konsumsi sumber daya, meminimalkan limbah, dan meningkatkan kinerja lingkungan keseluruhan proyek konstruksi. Berikut adalah sepuluh contoh bagaimana rekayasa nilai dapat diterapkan pada pengembangan alternatif sehubungan dengan keberlanjutan lingkungan dalam proyek konstruksi:

Penggunaan Bahan Bangunan Hijau

- Bahan bangunan hijau, seperti baja daur ulang dan bambu, dapat mengurangi dampak lingkungan dari konstruksi dengan meminimalkan penipisan sumber daya dan polusi (Jiayao, 2021).
- Bahan-bahan ini memiliki kandungan energi yang lebih rendah dan dapat berkontribusi pada kualitas udara dalam ruangan yang lebih baik, serta meningkatkan keberlanjutan bangunan (Wang & Baniotopoulos, 2023).

Implementasi Alat Desain Ramah Lingkungan

- Alat desain dengan orientasi ramah lingkungan dapat membantu desainer mengevaluasi dan membandingkan dampak lingkungan dari bahan dan metode konstruksi yang berbeda, mempromosikan pilihan yang lebih berkelanjutan (Bourgeois dkk., 2022).
- Alat-alat ini mengintegrasikan penilaian siklus hidup (LCA) dan biaya siklus hidup (LCC) untuk memberikan pandangan komprehensif tentang dampak keberlanjutan (Bourgeois dkk., 2022).

Adopsi Prinsip Ekonomi Sirkular

- Menggabungkan prinsip-prinsip ekonomi sirkular, seperti merancang untuk pembongkaran dan penggunaan kembali material, dapat secara signifikan mengurangi limbah dan konsumsi sumber daya dalam proyek konstruksi (Bourgeois dkk., 2022).

- Pendekatan ini mendukung daur ulang dan penggunaan kembali bahan, memperpanjang siklus hidupnya dan mengurangi kebutuhan akan sumber daya baru (Bourgeois dkk., 2022).

Efisiensi Energi dan Teknologi Pengurangan Emisi

- Menerapkan teknologi hemat energi, seperti sistem HVAC efisiensi tinggi dan pencahayaan LED, dapat mengurangi konsumsi energi bangunan dan menurunkan emisi gas rumah kaca (Zhou, 2020).
- Teknologi ini berkontribusi pada keberlanjutan bangunan secara keseluruhan dengan mengurangi jejak karbon (Zhou, 2020).

Praktik Konstruksi Lean

- Praktik konstruksi *lean* berfokus pada meminimalkan limbah dan memaksimalkan nilai, yang selaras dengan tujuan keberlanjutan dengan mengurangi penggunaan sumber daya dan meningkatkan efisiensi (Sarhan & Pretlove, 2021).
- Teknik seperti pengiriman tepat waktu dan prefabrikasi dapat mengurangi limbah material dan konsumsi energi di lokasi konstruksi (Sarhan & Pretlove, 2021).

Pembangunan Perkotaan Berkelanjutan

- Mengembangkan lingkungan perkotaan dengan mempertimbangkan keberlanjutan dapat meningkatkan kinerja lingkungan seluruh komunitas (Lützkendorf, 2019).
- Ini termasuk mengintegrasikan ruang hijau, mempromosikan transportasi umum, dan menggunakan praktik bangunan berkelanjutan untuk menciptakan daerah perkotaan yang layak huni dan ramah lingkungan (Lützkendorf, 2019).

Penggunaan Deklarasi Produk Lingkungan (EPD)

- EPD memberikan informasi terperinci tentang dampak lingkungan dari produk konstruksi, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat dan mempromosikan penggunaan bahan berkelanjutan (Lützkendorf, 2019).
- Dengan memasukkan EPD ke dalam proses desain, tim proyek dapat memilih bahan yang selaras dengan tujuan keberlanjutan (Lützkendorf, 2019).

Integrasi Sumber Energi Terbarukan

- Menggabungkan sumber energi terbarukan, seperti panel surya dan turbin angin, ke dalam desain bangunan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon (Wang & Baniotopoulos, 2023).
- Sistem ini dapat diintegrasikan ke dalam desain bangunan untuk menyediakan energi bersih dan meningkatkan keberlanjutannya secara keseluruhan (Wang & Baniotopoulos, 2023).

Pengelolaan Air Berkelanjutan

- Menerapkan teknologi hemat air, seperti perlengkapan aliran rendah dan sistem pemanenan air hujan, dapat mengurangi konsumsi air dan mempromosikan pengelolaan air yang berkelanjutan di gedung-gedung (Sandanayake dkk., 2022).
- Sistem ini membantu melestarikan sumber daya air dan mengurangi dampak lingkungan dari proyek konstruksi (Sandanayake dkk., 2022).

Ketahanan dan Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

- Merancang bangunan agar tahan terhadap dampak perubahan iklim, seperti peristiwa cuaca ekstrem, dapat meningkatkan keberlanjutan dan umur panjangnya (Iskandar dkk., 2022).
- Ini termasuk menggunakan bahan dan metode konstruksi yang dapat menahan perubahan kondisi iklim dan mengurangi kerentanan terhadap bahaya lingkungan (Iskandar dkk., 2022).

Analisis Studi Kasus Sejenis (Rachwan dkk., 2016)

The influence of value engineering and sustainability considerations on the project value (Rachwan dkk., 2016)

Berikut adalah tabel (Tabel 1) rangkuman informasi tentang proses value engineering yang dilakukan dalam artikel (Rachwan dkk., 2016), serta alternatif atau rekomendasi yang dihasilkan terkait dengan pengurangan dampak lingkungan, peningkatan efisiensi energi, dan optimalisasi desain:

Tabel 1: Metode penilaian *value engineering* berfokus pada aspek keberlanjutan (Rachwan dkk., 2016).

Alternatif/Rekomendasi	Kategori	Penjelasan
Mengembangkan metode penilaian <i>value engineering</i> yang berfokus pada aspek keberlanjutan.	Pengurangan Dampak Lingkungan	Studi ini menunjukkan bahwa <i>value engineering</i> dan pertimbangan keberlanjutan dapat mempengaruhi nilai proyek secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan metode penilaian <i>value engineering</i> yang berfokus pada aspek keberlanjutan.

Penjelasan lebih lanjut: (Rachwan dkk., 2016) berfokus pada pengaruh *value engineering* dan pertimbangan keberlanjutan terhadap nilai proyek. Studi ini menemukan bahwa *value engineering* dan pertimbangan keberlanjutan dapat secara signifikan mempengaruhi nilai proyek. Oleh karena itu, rekomendasi yang dihasilkan adalah mengembangkan metode penilaian *value engineering* yang berfokus pada aspek keberlanjutan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa proses *value engineering* dapat menghasilkan solusi yang tidak hanya mempertimbangkan biaya dan kinerja, tetapi juga dampak lingkungan dan keberlanjutan proyek. Kategori alternatif yang disarankan adalah pengurangan dampak lingkungan, karena metode penilaian yang baru akan memungkinkan identifikasi dan implementasi solusi yang lebih ramah lingkungan.

Studi Kasus Sejenis

Analisa dilakukan terhadap artikel (Rachwan dkk., 2016), kemudian dilakukan pencarian terhadap artikel dengan studi kasus sejenis, kemudian dianalisis dengan hasil dalam tabel (Tabel 2) berikut:

Tabel 2: Analisis studi kasus sejenis dengan alternatif atau rekomendasi terkait pengurangan dampak lingkungan, peningkatan efisiensi energi, dan optimalisasi desain.

Referensi	Alternatif / Rekomendasi	Kategori	Penjelasan
(Mansour & Krarti, 2022)	Menggunakan pendekatan <i>value engineering</i> untuk mengoptimalkan desain bangunan residensial berprestasi tinggi, meningkatkan efisiensi energi.	Peningkatan Efisiensi Energi	Studi ini menerapkan pendekatan <i>value engineering</i> untuk mengoptimalkan desain bangunan residensial berprestasi tinggi di Kuwait, yang dapat meningkatkan efisiensi energi.
(Latif dkk., 2020)	Menerapkan <i>value engineering</i> untuk mengoptimalkan biaya pengembangan infrastruktur energi yang berkelanjutan, seperti mengurangi ukuran ruangan bangunan.	Peningkatan Efisiensi Energi	Studi ini menerapkan tiga alternatif <i>value engineering</i> pada proyek pembangunan stasiun distribusi listrik utama, di mana salah satunya adalah mengurangi ukuran ruangan bangunan, yang dapat menghasilkan penghematan biaya.

Lanjutan pada halaman berikutnya

Tabel 2 (lanjutan)

Referensi	Alternatif / Rekomendasi	Kategori	Penjelasan
(Rosengart dkk., 2023)	Menggunakan indikator keberlanjutan yang diakui secara global, seperti potensi pemanasan global (GWP), untuk mengevaluasi dampak lingkungan secara komprehensif.	Pengurangan Dampak Lingkungan	Studi ini menunjukkan bahwa meskipun beberapa perbaikan dapat meningkatkan penggunaan material, hal ini dapat menghasilkan penghematan emisi fosil yang signifikan. Oleh karena itu, penggunaan indikator keberlanjutan yang komprehensif sangat penting untuk pengambilan keputusan yang tepat. Namun, penerapan <i>Green Value Engineering</i> sangat bergantung pada konteks proyek dan tidak dapat langsung diterapkan pada proyek lain.
(Albarbary dkk., 2023)	Menganalisis penggunaan material alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti <i>fly ash concrete</i> , untuk mengurangi dampak lingkungan dengan tetap mempertahankan kinerja dan biaya yang optimal.	Pengurangan Dampak Lingkungan	Studi ini mengonstruksi kerangka kerja yang mengintegrasikan pilar ekonomi, lingkungan, dan sosial keberlanjutan melalui <i>value engineering</i> , dengan menekankan manfaat penggunaan <i>fly ash</i> sebagai pengganti semen parsial.
(Alattyih dkk., 2019)	Mengidentifikasi dan memprioritaskan <i>driver</i> nilai untuk desain bangunan hijau yang berkelanjutan.	Pengurangan Dampak Lingkungan	Studi ini mengembangkan <i>driver</i> nilai untuk meningkatkan efisiensi kinerja dan nilai investasi pada bangunan hijau di Arab Saudi dan wilayah sekitarnya.

Lanjutan pada halaman berikutnya

Tabel 2 (lanjutan)

Referensi	Alternatif / Rekomendasi	Kategori	Penjelasan
(Al-Anzi, 2022)	Memanfaatkan material limbah untuk mengembangkan sistem penanaman yang berkelanjutan, mengurangi dampak lingkungan.	Pengurangan Dampak Lingkungan	Studi ini mengembangkan prototipe sistem penanaman menggunakan material limbah, yang kemudian dievaluasi secara lingkungan untuk memastikan efektivitas dan keamanannya.
(Zaki dkk., 2021)	Menerapkan <i>value engineering</i> dalam berbagai domain proyek konstruksi, termasuk proyek perumahan pemerintah, untuk meningkatkan nilai.	Optimalisasi Desain	Studi ini mengembangkan seperangkat indikator nilai dan solusi yang diusulkan dalam bentuk daftar periksa, yang dapat digunakan dalam tahap kreatif studi <i>value engineering</i> pada tahap desain awal proyek perumahan pemerintah.
(Li dkk., 2021)	Mengintegrasikan <i>value engineering</i> dengan teknologi dan alat bantu, seperti <i>Building Information Modeling</i> (BIM), untuk memberikan wawasan dan perbaikan yang lebih baik.	Optimalisasi Desain	Studi ini mengembangkan kerangka kerja untuk mengintegrasikan BIM dan <i>value engineering</i> dalam pengendalian biaya konstruksi, dengan menggunakan metode AHP dan menunjukkan penghematan biaya proyek.

Lanjutan pada halaman berikutnya

Tabel 2 (lanjutan)

Referensi	Alternatif / Rekomendasi	Kategori	Penjelasan
(W. T. Chen dkk., 2022)	Mengembangkan metode dan kerangka kerja baru untuk mengintegrasikan <i>value engineering</i> dengan disiplin lain, seperti <i>Lean Construction</i> , untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas.	Optimalisasi Desain	Studi ini menganalisis perkembangan <i>value engineering</i> dalam dekade terakhir, yang menunjukkan fokus pada integrasi <i>value engineering</i> dengan disiplin lain, penerapan di berbagai domain proyek, penilaian kinerja, dan pengembangan teknologi baru.

Berdasarkan analisis terhadap artikel dengan studi kasus sejenis, dapat disimpulkan bahwa tahapan *value engineering* yang dilakukan dalam berbagai studi terkait dengan pengurangan dampak lingkungan, peningkatan efisiensi energi, serta optimalisasi desain dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengurangan Dampak Lingkungan (Al-Anzi, 2022; Albarbary dkk., 2023; Rosengart dkk., 2023)
 - Menggunakan indikator keberlanjutan yang diakui secara global, seperti potensi pemanasan global (GWP), untuk mengevaluasi dampak lingkungan secara komprehensif (Rosengart dkk., 2023).
 - Menganalisis penggunaan material alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti fly ash concrete, untuk mengurangi dampak lingkungan dengan tetap mempertahankan kinerja dan biaya yang optimal (Albarbary dkk., 2023).
 - Memanfaatkan material limbah untuk mengembangkan sistem penanaman yang berkelanjutan, mengurangi dampak lingkungan (Al-Anzi, 2022).
2. Peningkatan Efisiensi Energi (Latif dkk., 2020; Mansour & Krarti, 2022)
 - Menerapkan *value engineering* untuk mengoptimalkan biaya pengembangan infrastruktur energi yang berkelanjutan, seperti mengurangi ukuran ruangan bangunan (Latif dkk., 2020).
 - Menggunakan pendekatan *value engineering* untuk mengoptimalkan desain bangunan residensial berprestasi tinggi, meningkatkan efisiensi energi (Mansour & Krarti, 2022).

3. Optimalisasi Desain (Alattyih dkk., 2019; W. T. Chen dkk., 2022; Li dkk., 2021; Zaki dkk., 2021)

- Mengintegrasikan value engineering dengan teknologi dan alat bantu, seperti Building Information Modeling (BIM), untuk memberikan wawasan dan perbaikan yang lebih baik (Li dkk., 2021).
- Mengembangkan metode dan kerangka kerja baru untuk mengintegrasikan value engineering dengan disiplin lain, seperti Lean Construction, untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas (W. T. Chen dkk., 2022).
- Menerapkan value engineering dalam berbagai domain proyek konstruksi, termasuk proyek perumahan pemerintah, untuk meningkatkan nilai (Zaki dkk., 2021).
- Mengembangkan driver nilai untuk desain bangunan hijau yang berkelanjutan (Alattyih dkk., 2019).

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan pendekatan *Rekayasa Nilai* (RN) dengan prinsip **pembangunan berkelanjutan** dalam sektor konstruksi. Adapun kesimpulan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Prinsip-prinsip Sustainable Development dalam Konstruksi:**

Tiga pilar utama pembangunan berkelanjutan – **ekonomi, sosial, dan lingkungan** – terbukti relevan dalam konteks konstruksi. Efisiensi sumber daya, pengurangan emisi, penggunaan material berkelanjutan, dan inklusi sosial menjadi komponen penting dalam mewujudkan keberlanjutan konstruksi.

2. **Integrasi Aspek Kelestarian Lingkungan dalam RN:**

Proses RN dapat diadaptasi dengan mempertimbangkan **dampak lingkungan** melalui tahapan evaluasi, analisis fungsi, dan pengembangan alternatif yang berfokus pada efisiensi energi, pengurangan limbah, serta pemilihan material ramah lingkungan.

3. **Pengembangan Alternatif Berkelanjutan:**

Alternatif-alternatif konstruksi yang dikembangkan melalui RN mencakup:

- Penggunaan **material hijau** seperti beton berkelanjutan.
- Implementasi **teknologi hemat energi** dan energi terbarukan.
- Penerapan **ekonomi sirkular** dan pengelolaan limbah konstruksi.
- Desain bangunan yang mengintegrasikan **blue-green infrastructure** untuk mitigasi perubahan iklim.

4. **Hubungan RN dengan Pembangunan Berkelanjutan:**

Penerapan RN secara efektif dapat mendukung pencapaian **tujuan pembangunan berkelanjutan** dengan menghasilkan proyek yang **efisien biaya, berkualitas tinggi**, dan memiliki **dampak lingkungan yang lebih rendah**.

Implikasi Penelitian

1. Implikasi Teoretis:

Penelitian ini menambah literatur tentang integrasi RN dan keberlanjutan dalam konstruksi, khususnya dengan mengadaptasi **analisis fungsi** dan evaluasi dampak lingkungan dalam tahapan RN.

2. Implikasi Praktis:

Penerapan RN yang terintegrasi dengan prinsip keberlanjutan dapat menjadi pedoman bagi para pemangku kepentingan di industri konstruksi untuk:

- Mengoptimalkan biaya proyek tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan.
- Mendorong penggunaan material ramah lingkungan dan teknologi efisien energi.
- Menjadikan RN sebagai alat strategis dalam mencapai **green construction**.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Studi Kasus Empiris:

Diperlukan studi kasus penerapan RN berkelanjutan dalam proyek konstruksi **skala besar** untuk mengukur efektivitas solusi alternatif yang dihasilkan.

2. Pengembangan Model Kuantitatif:

Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan **model kuantitatif** berbasis **Life Cycle Assessment (LCA)** untuk mengukur dampak lingkungan dari solusi alternatif yang dihasilkan melalui RN.

3. Analisis Komparatif:

Lakukan analisis komparatif penerapan RN dalam berbagai **konteks geografis** dan **jenis proyek konstruksi** untuk mengidentifikasi praktik terbaik dan tantangan spesifik di setiap wilayah.

4. Inovasi Teknologi dalam RN:

Eksplorasi pemanfaatan teknologi digital seperti **Building Information Modeling (BIM)** untuk meningkatkan efisiensi analisis RN dan mempermudah integrasi aspek keberlanjutan.

Daftar Pustaka

- Ahmed, S., Meenar, M., & Alam, A. (2019). Designing a Blue-Green Infrastructure (BGI) Network: Toward Water-Sensitive Urban Growth Planning in Dhaka, Bangladesh. *Land*, 8(9), 138. <https://doi.org/10.3390/land8090138>
- Alamgir, M., Campbell, M., Sloan, S., Goosem, M., Clements, G., Mahmoud, M., & Laurance, W. (2017). Economic, Socio-Political and Environmental Risks of Road Development in the Tropics. *Current Biology*, 27(20), R1130–R1140. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.08.067>
- Al-Anzi, F. S. (2022). Building a Planter System Using Waste Materials Using Value Engineering Environmental Assessment. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05300-0>
- Alattiyh, W., Haider, H., & Boussabaine, H. (2019). Development of Value Creation Drivers for Sustainable Design of Green Buildings in Saudi Arabia. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su11205867>
- Albarbary, M. M., Tahwia, A. M., & Elmasoudi, I. (2023). Integration between Sustainability and Value Engineering in the Production of Eco-Friendly Concrete. *null*. <https://doi.org/10.3390/su15043565>
- Allen, J., Farley, L., Kao, J., Mladenova, I., & Georgoulas, A. (2010). Towards the Development of a Rating System for Sustainable Infrastructure: A Checklist or a Decision-Making Tool? *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2010(2), 379–391. <https://doi.org/10.2175/193864710798284643>
- Amaral, R., & Abraham, Y. (2020). Feasibility of a Sustainable Infrastructure Rating System Framework in a Developing Country. *Journal of Infrastructure Development*, 12(2), 91–104. <https://doi.org/10.1177/0974930620961475>
- Amiril, A., Nawawi, A., Takim, R., & Latif, S. (2018). Sustainability Factors and Performance. *Asian Journal of Quality of Life*, 3(9), 151–160. <https://doi.org/10.21834/ajqol.v3i9.86>
- Arredondo-Ruiz, F., Cañas, I., Mazarrón, F., & Manjarrez-Domínguez, C. (2020). Designs for Energy-efficient Wine Cellars (Ageing Rooms): A Review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26(1), 9–28. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12416>
- Bertolini, V. (2016). Aplikasi Value Engineering Pada Proyek Pembangunan Gedung (Studi Kasus Hotel Grand Banjarmasin). *Jurnal Iptek*, 20(2), 53. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2016.v20i2.32>
- Bourgeois, I., Queirós, A., Olivera, J. R. de, Rodrigues, H., Vicente, R., & Ferreira, V. M. (2022). Development of an Eco-Design Tool for a Circular Approach to Building Renovation Projects. *Sustainability*, 14(14), 8969–8969. <https://doi.org/10.3390/su14148969>
- Chen, W. T., Merrett, H. C., Liu, S.-S., Fauzia, N., & Liem, F. N. (2022). A Decade of Value Engineering in

- Construction Projects. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2022/2324277>
- Chen, W., Chang, P., & Huang, Y. (2010). Assessing the Overall Performance of Value Engineering Workshops for Construction Projects. *International Journal of Project Management*, 28(5), 514–527. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.08.005>
- Colangelo, F., Forcina, A., Farina, I., & Petrillo, A. (2018). Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction. *Buildings*, 8(5), 70. <https://doi.org/10.3390/buildings8050070>
- Cumming, T., Shackleton, R., Förster, J., Dini, J., Khan, A., Gumula, M., & Kubiszewski, I. (2017). Achieving the National Development Agenda and the Sustainable Development Goals (SDGs) through Investment in Ecological Infrastructure: A Case Study of South Africa. *Ecosystem Services*, 27, 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.005>
- Devonald, M., Jones, N., & Youssef, S. (2022). “We Have No Hope for Anything”: Exploring Interconnected Economic, Social and Environmental Risks to Adolescents in Lebanon. *Sustainability*, 14(4), 2001. <https://doi.org/10.3390/su14042001>
- Eizenberg, E., & Jabareen, Y. (2017). Social Sustainability: A New Conceptual Framework. *Sustainability*, 9(1), 68. <https://doi.org/10.3390/su9010068>
- Hendricks, M., Meyer, M., Gharaibeh, N., Zandt, S., Masterson, J., Cooper, J., & Berke, P. (2018). The Development of a Participatory Assessment Technique for Infrastructure: Neighborhood-Level Monitoring towards Sustainable Infrastructure Systems. *Sustainable Cities and Society*, 38, 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.039>
- Ijigah, E., Ojo, O., Lawal, A., & Olowokere, E. (2023). Integrated Performance Model for Building Construction Projects in Higher Institutions, Southwest Nigeria. *Lautech Journal of Civil and Environmental Studies*, 10(2). <https://doi.org/10.36108/laujoces/3202.01.0290>
- Iskandar, M., Nelson, D. D., & Tehrani, F. M. (2022). Managing Sustainability and Resilience of the Built Environment in Developing Communities. *CivilEng*, 3(2), 427–441. <https://doi.org/10.3390/civileng3020025>
- Jiayao, Z. (2021). *Application of Green Building Materials in Civil Engineering Construction*. 248. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202124803012>
- Latif, S. D., Usman, F., & Pirot, B. M. (2020). Implementation of Value Engineering in Optimizing Project Cost for Sustainable Energy Infrastructure Asset Development. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.150709>
- Levasseur, A., Lesage, P., Margni, M., Deschênes, L., & Samson, R. (2010). Considering Time in LCA: Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments. *Environmental Science & Technology*, 44(8), 3169–3174. <https://doi.org/10.1021/es9030003>
- Li, X.-J., Wang, C., & Alashwal, A. M. (2021). Case Study on BIM and Value Engineering Integration for Construction Cost Control. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/8849303>
- Lin, X., Mazlan, A. N., Ismail, S., Hu, L., Kasiman, E. H. B., & Yahya, K. (2022). Status of Value Management Studies in Construction Projects: A Systematic Review. *Ain Shams Engineering Journal*.

- <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101820>
- López, H., Ossio, F., & Silva, M. (2023). Assessment of Sustainability and Efficiency Metrics in Modern Methods of Construction: A Case Study Using a Life Cycle Assessment Approach. *Sustainability*, 15(7), 6267. <https://doi.org/10.3390/su15076267>
- Lu, W., Peng, Y., Shen, Q., & Li, H. (2013). Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a Learning Tool in Construction Tasks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(2), 195–203. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000585](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000585)
- Lützkendorf, T. (2019). *Sustainability in Building Construction – a Multilevel Approach*. 290(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012004>
- Mansour, M. A., & Krarti, M. (2022). Value Engineering Optimal Design Approach of High-Performance Residential Buildings: Case Study of Kuwait. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111833>
- Maragara, G. (2023). A Model for Enhancing the Application of Value Management in Construction Projects in Kenya. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 23(1), 77–87. <https://doi.org/10.4314/jagst.v23i1.6>
- Marchi, L., Antonini, E., & Politi, S. (2021). Green Building Rating Systems (GBRSS). *Encyclopedia*, 1(4), 998–1009. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1040076>
- Mousakhani, E., Yavarkhani, M., & Sohrabi, S. (2017). Selecting an Appropriate Alternative for a Major Infrastructure Project with Regard to Value Engineering Approach. *Journal of Engineering Design and Technology*, 15(03), 395–416. <https://doi.org/10.1108/JEDT-12-2015-0083>
- Müller, D., Liu, G., Løvik, A., Modaresi, R., Pauliuk, S., Steinhoff, F., & Brattebø, H. (2013). Carbon Emissions of Infrastructure Development. *Environmental Science & Technology*, 47(20), 11739–11746. <https://doi.org/10.1021/es402618m>
- Pramudianto, A. (2018). Life Cycle Analysis Methods on Environmental Impact Assessment (EIA) Procedures in the Perspective of Sustainable Development. *E3s Web of Conferences*, 74, 11003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187411003>
- Rachwan, R., Abotaleb, I. S., & Elgazouli, M. (2016). The Influence of Value Engineering and Sustainability Considerations on the Project Value. *Procedia environmental sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.038>
- Rashid, M., Pereira, J., Begum, R., Aziz, S., & Mokhtar, M. (2011). Climate Change and Its Implications to National Security. *American Journal of Environmental Sciences*, 7(2), 150–160. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2011.150.160>
- Razzaq, A., Ajaz, T., Li, J., Irfan, M., & Suksatan, W. (2021). Investigating the Asymmetric Linkages between Infrastructure Development, Green Innovation, and Consumption-Based Material Footprint: Novel Empirical Estimations from Highly Resource-Consuming Economies. *Resources Policy*, 74, 102302. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102302>
- Rosengart, A., Granzotto, M., Wierer, R., Pazzaglia, G., Salvi, A., & Dotelli, G. (2023). The Green Value Engineering Methodology: A Sustainability-Driven Project Management Tool for Capital Projects

- in Process Industry. *null*. <https://doi.org/10.3390/su152014827>
- Sameer, H., & Bringezu, S. (2019). Life Cycle Input Indicators of Material Resource Use for Enhancing Sustainability Assessment Schemes of Buildings. *Journal of Building Engineering*, 21, 230–242. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.10.010>
- Sandanayake, M., Bouras, Y., & Vrcelj, Z. (2022). Environmental Sustainability in Infrastructure Construction—a Review Study on Australian Higher Education Program Offerings. *Infrastructures*, 7(9), 109. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7090109>
- Sarhan, S., & Pretlove, S. (2021). Lean and Sustainable Construction: State of the Art and Future Directions. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 21(3). <https://doi.org/10.5130/AJCEB.V21I3.7854>
- Schaltegger, S., Hansen, E., & Lüdeke-Freund, F. (2015). Business Models for Sustainability. *Organization & Environment*, 29(1), 3–10. <https://doi.org/10.1177/1086026615599806>
- Švajlenka, J., Kozlovská, M., & Pošiváková, T. (2018). Analysis of Selected Building Constructions Used in Industrial Construction in Terms of Sustainability Benefits. *Sustainability*, 10(12), 4394. <https://doi.org/10.3390/su10124394>
- Turk, J., Cotič, Z., Mladenovič, A., & Šajna, A. (2015). Environmental Evaluation of Green Concretes versus Conventional Concrete by Means of LCA. *Waste Management*, 45, 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.035>
- Vilela, T., Harb, A., Bruner, A., Arruda, V., Ribeiro, V., Alencar, A., & Botero, R. (2020). A Better Amazon Road Network for People and the Environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(13), 7095–7102. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910853117>
- Wang, Z., & Baniotopoulos, C. (2023). Green Construction and Sustainable Development. *Open Journal of Civil Engineering*, 13(02), 317–325. <https://doi.org/10.4236/ojce.2023.132024>
- Willar, D., Waney, E., Pangemanan, D., & Mait, R. (2020). Sustainable Construction Practices in the Execution of Infrastructure Projects. *Smart and Sustainable Built Environment*, 10(1), 106–124. <https://doi.org/10.1108/SASBE-07-2019-0086>
- Yoshida, H., Christensen, T., & Scheutz, C. (2013). Life Cycle Assessment of Sewage Sludge Management: A Review. *Waste Management & Research the Journal for a Sustainable Circular Economy*, 31(11), 1083–1101. <https://doi.org/10.1177/0734242x13504446>
- Zaki, M. A., Omar, N., & Zoair, A. (2021). The Role of Value Engineering in Government Housing Projects in Developing Countries to Improve Value. *null*. <https://doi.org/10.21625/essd.v6i2.833>
- Zhou, L. (2020). *Research on Application of Building Energy Saving and Emission Reduction Technology in Civil Engineering*. 514(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/514/4/042044>