

Analisa Kinerja Biaya Konsep *Green* Pada Bangunan Utama *Flour Mill Plant* Berbasis *Value Engineering* dan *Life Cycle Cost Analysis*

Iwan Kurniawan¹, Albert Eddy Husin^{1,*}

Program Magister Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, Jakarta¹

Koresponden*, Email: albert_eddy@mercubuana.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	27 November 2022	<i>In accordance with the mission of the Sustainable Development Goals 2030, that by 2030 the new building will have a Green concept of 100% and an existing building of 60%. With the Value Engineering and Life Cycle Cost Analysis methods, the application of the Green concept to the Main Building of the Flour Mill Plant is used for analysis using Structural Equation Modelling – Part Least Square (SEM-PLS). The result of this study is that there are 10 factors that affect the cost performance of the Green project on the Main Building of the Flour Mill Plant, namely Project Manager Performance, Energy Efficiency, Technical Specifications, Provision of Parking Lots, Management Commitments, Water Sources, Analysis Functions, Waste Handling Systems, Selection of Alternative Materials and Energy Costs. The Value Engineering method resulted in cost savings of 14.21% of Green costs, LCCA showed a payback period with time = 3.11 years; 3 years 11 months for the application of the Green concept to the main Flour Mill Plant building.</i>
Diperbaiki	28 Desember 2022	
Disetujui	05 Januari 2023	

Keywords: main building of flour mill, green building, SEM-PLS, value engineering and life cycle cost analysis.

Abstrak
Sesuai misi dari Sustainable Development Goals 2030, bahwa pada tahun 2030 bangunan baru berkonsep hijau sebesar 100% dan bangunan ekisting sebesar 60%. Dengan metode *Value Engineering* dan *Life Cycle Cost Analysis*, penerapan konsep *Green* pada Bangunan Utama *Flour Mill Plant* digunakan analisis dengan menggunakan *Structural Equation Modelling – Part Least Square (SEM-PLS)*. Hasil dari penelitian ini adalah terdapat 10 faktor yang berpengaruh kepada kinerja biaya pada proyek *Green* pada Bangunan Utama *Flour Mill Plant*, yaitu *Performance Proyek Manajer, Efisiensi Energi, Spesifikasi Teknis, Penyediaan Lahan Parkir, Komitmen Manajemen, Sumber Air, Fungsi Analisis, Sistem Penanganan Sampah, Pemilihan Material Alternatif dan Biaya Energi*. Metode *Value Engineering* menghasilkan penghematan biaya sebesar 14,21% dari biaya *Green*, *LCCA* menunjukkan pembayaran kembali (*Payback Period*) dengan waktu = 3,11 Tahun; 3 Tahun 11 Bulan untuk penerapan konsep *Green* pada bangunan Utama *Flour Mill Plant*.

Kata kunci: bangunan utama *flour mill*, *green building*, *SEM-PLS*, *value engineering*, *life cycle cost analysis*.

1. Pendahuluan

Bangunan berperan penting terhadap penipisan sumber daya alam dan energi, kerusakan ekosistem, dan pemanasan global. Bangunan dan konstruksi berkontribusi 39% dari semua energi dan emisi karbon dioksida terkait proses [1]. Dari jumlah tersebut, 28% terkait dengan operasi bangunan dan 11% dengan bahan dan konstruksi [2] Bangunan juga mengkonsumsi 12% dari semua sumber daya air tawar, menghasilkan 30% dari semua emisi gas rumah kaca yang bertanggung jawab dan menghasilkan pemanasan global, dan mengambil 10% dari seluruh luas daratan.

Bangunan Utama *Flour Mill Plant* merupakan bagian utama dari pabrik tepung terigu yang terdiri dari *Wheat Bins, Process Area, Finish Bins, Laboratory dan Buck Loading Area*. Di Indonesia baru terdapat satu *Flour Mill Plant* yang menerapkan konsep *Green*. Sehingga pembangunan bangunan pabrik yang menerapkan konsep *Green* sangat dibutuhkan.

Seiring dengan peningkatan konsumsi gandum industri tersebut [3], pembangunan *Flour Mill Plant* menjadi sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi tepung terigu baik untuk industri besar, industri kecil dan menengah serta penggunaan rumah tangga yang terus meningkat mengikuti peningkatan jumlah penduduk.

Konsep *Green* merupakan proses membangun terstruktur dengan memperhatikan suatu lingkungan sepanjang siklus hidup dari bangunan mulai dari fase desain, fase konstruksi, fase operasi, fase pemeliharaan dan fase dekonstruksi [4]. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan dan Perumahan Rakyat No. 21 tahun 2021 (Permen PUPR No. 21 tahun 2021), Bangunan Gedung Hijau atau yang disebut dengan BGH adalah Bangunan Gedung yang telah memenuhi Standard Teknis Bangunan Gedung yang memiliki kinerja terukur dan terstruktur secara signifikan dalam penghematan energi, air dan sumber daya lainnya melalui fungsi dan klasifikasi dalam setiap tahapan penyelenggaraan.

Konstruksi hijau telah mencapai pertumbuhan yang cepat selama beberapa dekade terakhir. Namun, terlepas dari keberhasilannya, konstruksi hijau menghadapi berbagai masalah yang disebabkan oleh pendekatan manajemen proyek yang buruk. Dilaporkan menunjukkan bahwa 30% proyek konstruksi hijau mengalami pengerjaan ulang, 50% dari proyek konstruksi hijau terganggu oleh penundaan [5] dan 90% proyek konstruksi hijau membutuhkan premi biaya hingga 21% untuk memastikan penyelesaiannya [6].

Energi terbarukan (*renewable energy*) adalah energi yang berasal dari sumber-sumber alamiah seperti sinar matahari, angin, hujan, panas bumi dan biomassa. Pada tahun 2006 sekitar 18% konsumsi energi dunia berasal dari sumber-sumber energi terbarukan dan jumlah ini cenderung meningkat terus dari tahun ke tahun dan terus dikembangkan teknologinya di Indonesia [7].

Penerapan Konstruksi Hijau pada proyek memberikan nilai tambah bagi kontraktor, dengan memberikan efisiensi dalam penggunaan energi listrik, air, material, dan bahan bakar [8]. Selain itu juga akan menghemat biaya produksi dalam proses konstruksi dan memberikan keuntungan yang lebih baik bagi pelaku usaha konstruksi [9]. Peningkatan biaya yang terjadi pada konsep *Green* dapat direduksi dengan penerapan *Value Engineering* dalam tahapan pelaksanaan [10].

Menurut SAVE International (2007), *Value Engineering* adalah proses sistematis pemantauan pelaksanaan pekerjaan yang dilakukan oleh tim multidisiplin untuk meningkatkan nilai proyek dengan melakukan analisis mendalam tentang hubungan antara fungsi proyek dan biaya [11]. Al-Yousefi dan Hayden juga mendefinisikan *Value Engineering* sebagai metodologi di mana perubahan dipertimbangkan secara komprehensif untuk mencegah hal yang tidak disengaja perubahan [12]. *Life Cycle Cost* dalam *Value Engineering* dilakukan berdasarkan pada nilai dan digunakan untuk mengidentifikasi alternatif dengan biaya paling rendah. [13].

Life Cycle Cost Analysis (LCCA) adalah metode optimasi untuk memilih solusi yang menghasilkan uang paling banyak selama masa pakainya, atau, dengan kata lain, memiliki biaya siklus hidup terendah, yang merupakan tujuan utama dari analisis teknis dan ekonomi [14]. Pendekatan analitis LCCA membantu dalam menemukan opsi yang paling ekonomis yang memenuhi tujuan proyek dan memberikan kontribusi data penting untuk proses pengambilan keputusan secara keseluruhan. LCCA sangat berguna ketika proyek alternatif yang memenuhi persyaratan kinerja yang sama tetapi berbeda mengenai biaya awal dan biaya operasi, harus dibandingkan

untuk memilih salah satu yang memaksimalkan penghematan biaya [10]. Langkah-langkah umum dalam menghitung LCC adalah sebagai berikut:

- 1). Cost Breakdown Structure (CBS) – Pemodelan LCC tanpa Nilai Sisa – Analisis Biaya Siklus Hidup – Analisis Sensitivitas – Efisiensi [15].
- 2.) Sepanjang seluruh siklus hidup proyek, bangunan hijau diprioritaskan. Ini termasuk bahan bangunan, perencanaan, desain, konstruksi, operasi, pemeliharaan, dan pemindahan, serta daur ulang limbah di seluruh proses [16].

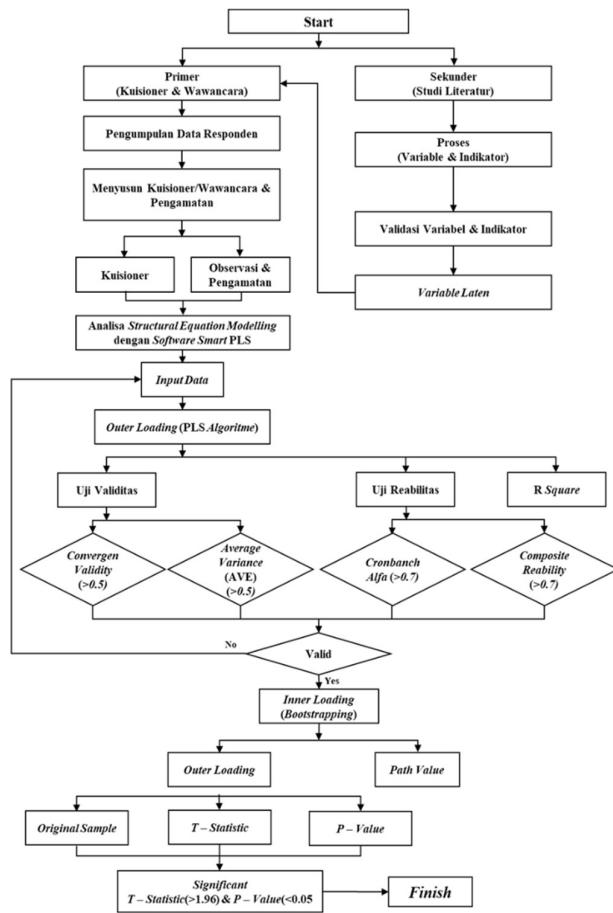
Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah nilai suatu parameter pada suatu titik untuk melihat lebih jauh bagaimana pengaruhnya terhadap akseptabilitas suatu alternatif investasi [17]. Parameter yang biasanya berubah dan perubahannya dapat mempengaruhi keputusan dalam studi ekonomi teknik adalah biaya investasi, arus kas, nilai sisa, suku bunga, tarif pajak, dan sebagainya. Analisis sensitivitas ini merupakan perubahan *Life Cycle Cost* terhadap suku bunga (*i*) dengan kisaran $\pm 30\%$ [18].

Melalui konsep hubungan antara faktor-faktor pada obyek Bangunan Utama *Flour Mill Plant*, konsep *Green*, *Value Engineering* dan *Life Cycle Cost Analysis* dapat diteliti pengaruh terhadap peningkatan kinerja biaya *Green* pada Bangunan Utama *Flour Mill Plant*. Model dan konsep hubungan yang kompleks tersebut dapat menggunakan model analisis Parsial Least Square untuk Persamaan Struktural (SEM-PLS). Model untuk SEM meliputi model struktural dan model pengukuran. Selain itu SEM juga digunakan untuk menyesuaikan model bertingkat secara serempak yang tidak dapat diselesaikan oleh persamaan regresi linier. SEM juga dianggap sebagai gabungan dari analisis regresi dan analisis faktor.

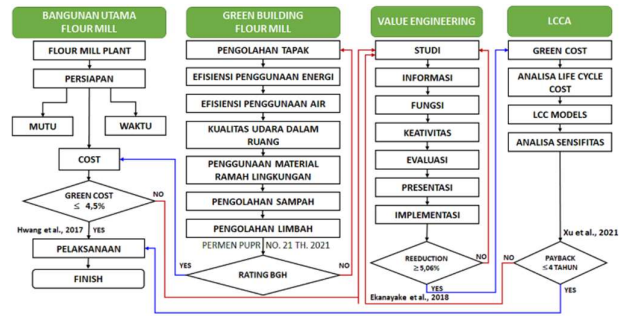
2. Metode

Analisis menggunakan software SEM PLS versi 3.0 adalah untuk menentukan ukuran sampel apakah data tersebut memenuhi persyaratan pada model SEM-PLS. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah karakteristik dari model itu sendiri diantaranya, ukuran sampel, bentuk sebaran data, missing values dan skala pengukuran. Minimum ukuran sample yang diambil didasarkan pada perbedaan level pada path coefficients (*p* Min) dan uji kekuatan statistik 80 % [19].

Untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan, langkah selanjutnya peneliti membuat diagram alir penelitian untuk masing-masing langkah untuk mendapatkan analisis statistik dan langkah penerapan penelitian dalam studi kasus.



Gambar 1. Diagram Pengolahan Data dengan SEM-PLS



Gambar 2. Digram Alur Implementasi

3. Hasil dan Pembahasan

Data kuesioner yang dikumpulkan oleh peneliti dalam penelitian ini dan akan diolah dan dianalisis menggunakan *Structural Equation Modeling* (SEM). Metode ini seolah-olah dapat mendominasi penggunaan dari analisis jalur dan regresi berganda yang sudah sering dipakai selama ini. Hal ini dikarenakan analisis ini lebih lebih komprehensif karena setiap nilai pada tiap-tiap pertanyaan dari masing-masing variabel laten atau faktor atau didalam metode ini disebut sebagai variabel observed atau sub faktor dari sebuah variabel laten dapat dianalisa secara komprehensif. Peneliti menggunakan software SEM SMART-PLS versi 3.0.

Analisis data untuk mengetahui dan menganalisis faktor yang paling berpengaruh terhadap peningkatan kinerja biaya *Green* berbasis VE dan LCCA diterapkan pada industri beton, faktor dan subfaktor dari variabel diuji menggunakan SEM- PLS ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Main Faktor	Sub Faktor	Referensi
Bangunan Flour Mill (X1)	Manajemen Proyek	X.1 Organisasi Proyek	[20]
		X.2 Manajemen Risiko	[21]
		X.3 Monitoring & Controlling	[22]
		X.4 Performance Proyek Manajer	[22]
		X.5 Communication & Coordination	[20]
	Dokumen Kontrak	X.6 BOQ	[20]
		X.7 Gambar Teknis	[23]
		X.8 Spesifikasi Teknis	[23]
		X.9 Jadwal Pekerjaan	[23]
		X.10 Requisition dan Syarat-Syarat	[20]
Green Building (X2)	Pengelolaan Tapak	X.11 Orientasi Bangunan	[24]
		X.12 Pengolahan Tapak Termasuk Aksesibilitas atau Sirkulasi	[24]
		X.13 Pengolahan Lahan Terkontaminasi Limbah Bahan Berbahaya & Beracun	[24]
		X.14 Penyediaan Lahan Parkir	[24]
		X.15 Penyediaan Jalur Pedestrian	[24]
		X.16 Pengelolaan Tapak Basemen	[24]
		X.17 Rencana Ruang Terbuka Hijau (RTH) Privat	[24]
		X.18 Sistem Pencahayaan Ruang Luar	[24]
		X.19 Pembangunan Bangunan Gedung diatas dan/atau di Bawah Tanah, Air dan/atau Sarana Prasarana	[24]
		X.20 Selubung Bangunan	[24]

Variabel	Main Faktor	Sub Faktor	Referensi
Green Building (X2)	Efisiensi Penggunaan Energi	X.21 Sistem Ventilasi	[24]
		X.22 Sistem Pengondisian Udara	[24]
		X.23 Sistem Pencahayaan	[24]
		X.24 Perhitungan Efisiensi Energi	[24]
		X.25 Sistem Transportasi dalam Gedung	[24]
		X.26 Sistem Kelistrikan	[24]
	Efisiensi Penggunaan Air	X.27 Pemakaian Air	[24]
		X.28 Penggunaan Peralatan Saniter Hemat Air	[24]
		X.29 Sumber Air	[24]
	Kualitas Udara	X.30 Pelarangan Merokok	[24]
		X.31 Pengendalian CO2 dan CO	[24]
		X.32 Pengendalian Penggunaan Bahan Pembeku	[24]
	Material Ramah Lingkungan	X.33 Pengendalian Penggunaan Material Berbahaya	[24]
		X.34 Penggunaan Material Bersertifikat Ramah Lingkungan (Eco- Labelling)	[24]
	Pengelolaan Sampah	X.35 Penerapan Prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle)	[24]
		X.36 Penerapan Sistem Penanganan Sampah	[24]
		X.37 Penerapan Sistem Pencatatan Timbulan Sampah	[24]
	Pengelolaan Air Limbah	X.38 Penyediaan Fasilitas Pengolahan Air Limbah	[24]
		X.39 Daur Ulang Air dari Air Limbah Domestik	[24]
Value Engineering (X3)	Tahap Informasi	X.40 Adanya Komitmen / Dukungan Top Management	[25]
		X.41 Informasi dan Komunikasi	[26]
		X.42 Data Analysis	[27]
		X.43 Perencanaan Terstruktur	[27]
		X.44 Aturan Pendukung	[26]
	Tahap Fungsi	X.45 Meningkatkan kualitas proyek	[22]
		X.46 Fungsi Analisis	[28]
	Tahap Kreatif	X.47 Tahap Pengembangan	[26]
		X.48 Sistem Pemilihan Material	[28]
	Tahap Evaluasi	X.49 Waktu Studi <i>Value Engineering</i>	[28]
		X.50 Hasil Ide dan Evaluasi Alternatif	[27]
	Tahap Pengembangan	X.51 Pengurangan Biaya Material	[29]
		X.52 Pemilihan Material Alternatif	[29]
	Tahap Presentasi	X.53 Penyelesaian Implementasi	[27]
		X.54 Sumber Daya	[28]
Tahap Implementasi	X.55 Pemeriksaan Implementasi	[28]	
	X.56 Tindak Lanjut Pemeriksaan	[12]	
Life Cycle Cost Analysis (X4)	Cost Breakdown Structure (CBS)	X.57 Biaya Awal	[27]
		X.58 Biaya Energi	[28]
	Analisa LCC (A-L)	X.59 Biaya Penggantian	[8]
		X.60 Biaya Operasional Dan Maintenance	[12]
	Lcc Modeling (L-M)	X.61 Periode Analisa	[30]
		X.62 Present Time / Tahun Ke	[30]
Biaya (Y)	Faktor Internal & Eksternal	Y.1 Biaya Material	[12]
		Y.2 Biaya Tenaga Kerja	[12]
		Y.3 Biaya Peralatan	[26]
		Y.4 Biaya Pengiriman	[22]
		Y.5 Fluktuasi Harga Material	[31]
		Y.6 Biaya Lingkungan	[31]

a. Evaluasi Model Pengukuran (*Outer Loading – PLS algoritm*)

Pengukuran indikator (*Outer Model*) dilakukan dengan melihat Convergent validity, Average variance Extracted-AVE, Construct Reliability dan Cronbach's Alpha. Model antara variabel laten dan indikator serta variabel median penelitian menggunakan model reflektif.

Hasil dari nilai AVE menunjukkan bahwa variabel laten dan median diperoleh nilai > 0.5, sehingga menunjukkan bahwa variabel konvergen sudah valid dan memadai. Nilai *Composite Reliability dan Cronbach's alpha* diperoleh > 0.7, sehingga keandalan *instrument* dapat dipercaya dan diterima.

Tabel 2. Composite Reliability, Cronbach's Alpha dan AVE

Variabel	Composite Reliability (> 0.7)	Cronbach's Alpha (> 0.7)	AVE (> 0.5)
Efisiensi Penggunaan Air	0.838	0.709	0.633
Analisa LCC	0.947	0.888	0.899
Bangunan Flour Mill Plant	0.927	0.912	0.564
Cost Breakdown Structure	0.902	0.853	0.699
Dokumen Kontrak	0.902	0.863	0.649
Efisiensi Penggunaan Energi	0.899	0.868	0.562
Tahap Evaluasi	0.893	0.759	0.806
Tahap Fungsi Green building	0.838	0.709	0.775
Tahap Implementasi	0.873	0.710	0.510
Tahap Informasi	0.968	0.965	0.834
Tahap Kreatif	0.909	0.801	0.676
LCC Modelling	0.913	0.880	0.923
Life Cycle Cost Analysis	0.960	0.918	0.923
Pengelolaan Limbah	0.960	0.917	0.560
Manajemen Proyek	0.910	0.887	0.878
Material Ramah Lingkungan	0.935	0.861	0.636
Tahap Pengembangan	0.896	0.853	0.958
Tahap Presentasi	0.979	0.956	0.886
Pengelolaan Sampah	0.939	0.871	0.815
Pengelolaan Tapak	0.898	0.773	0.648
Udara Dalam Ruang	0.846	0.727	0.612
Ruangan	0.934	0.920	0.726
Value Engineering	0.888	0.807	0.899
Biaya	0.950	0.944	0.806

b. Evaluasi Model Pengukuran (Inner Loading – Bootstrapping)

Penentuan signifikansi dan kekuatan hubungan antara konstruk serta untuk menguji hipotesis, koefisien jalur antara konstruk juga diukur. Nilai koefisien jalur berkisar dari -1 hingga +1. Keterkaitan antara kedua konstruk tersebut semakin kuat apabila nilainya mendekati +1. Hubungan yang kurang dari -1 menunjukkan hubungan negatif [32]. Untuk menguji nilai model struktural (inner-loading) atau model yang menghubungkan antar konstruk (variable laten) selanjutnya dianalisis menggunakan prosedur Bootstrapping [33].

Pengujian *R-Square* (R^2) adalah alat untuk menyesuaikan ambang *Goodness of Fit* untuk setiap model struktural. Nilai *R-Square* (R^2) digunakan untuk mengukur seberapa besar pengaruh variabel laten independen tertentu terhadap variabel laten dependen. Menurut Chin (1998) dalam Ghozali (2012:27), hasil R^2 sebesar 0,67 menunjukkan bahwa model dapat digolongkan baik. Hasil R^2 antara 0,33 dan 0,67 menunjukkan bahwa model dapat diklasifikasikan sebagai moderat.

Tabel 3. Nilai R-Square

Variabel	R-Square
Manajemen Proyek	0.884
Efisiensi Penggunaan Energi	0.881
Value Engineering	0.879
Dokumen Kontrak	0.868
Green building	0.848
Pengelolaan Tapak	0.846
Tahap Informasi	0.828
Efisiensi Penggunaan Air	0.822
Tahap Fungsi	0.806
Pengelolaan Sampah	0.759
Tahap Pengembangan	0.731
Cost Breakdown Structure	0.724
Tahap Evaluasi	0.719
Udara Dalam Ruang	0.716
Life Cycle Cost Analysis	0.651
Pengelolaan Limbah	0.636
Material Ramah Lingkungan	0.622
LCC Modeling	0.619
Analisa LCC	0.579
Tahap Implementasi	0.543
Tahap Kreatif	0.517
Tahap Presentasi	0.438
Biaya	0.889

Dari hasil pembahasan dan analisis tersebut diperoleh faktor-faktor yang diambil 10 besar berpengaruh terhadap peningkatan kinerja biaya *Green* berbasis *Value Engineering* dan *Life Cycle Cost Analysis* yang diterapkan pada Bangunan Utama *Flour Mill Plant* terlihat pada **Tabel 4**.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [23] didapatkan faktor-faktor yang berpengaruh kepada kinerja biaya pada proyek *Green Hospital* dengan menggunakan SPSS Ver.21, antara lain : *Competence of project manager*, *Policies and regulations*, *Biaya Awal (Initial Cost)*, *Biaya Operasional dan Maintenance (OM Cost)*, *Periode Analisa, Modelling* tanpa nilai sisa, Pemilihan alternatif material yang tepat, Adanya Tim VE yang multidisplin, Input informasi dan komunikasi sebaik-baiknya. Pengembangan Penelitian yang dilakukan pada industri *Flour Mill Plant* dimana analisa menggunakan SEM- PLS dan memperoleh hasil faktor-faktor yang berpengaruh kepada kinerja biaya *Green*

menggunakan Parameter PERMEN PUPR No.21 yaitu *Performance* Proyek Manajer, Perhitungan efisiensi energi, Spesifikasi teknis, Penyediaan lahan parkir, Aturan pendukung, Sumber air, Fungsi analisis, Penerapan sistem penanganan sampah, pemilihan material alternatif dan Biaya energi. Dalam Hal ini Pengaruh *Performance* Proyek Manajer sangat signifikan dalam implementasi *Green Building* baik pada Obyek Gedung Rumah sakit maupun Bangunan *Flour Mill Plant*.

a. Hubungan Konsep *Green*, *Value Engineering* dan *Life Cycle Cost Analysis*

Hasil observasi dan assesment mandiri yang dilakukan pada penelitian ini diperoleh rating Madya dengan nilai 122 atau senilai 73.94% dengan rencana biaya *Green* sebesar (Rp. 5.654.033.200) atau adanya peningkatan sebesar 5,02% dari biaya awal tanpa konsep *Green*.

Rencana Anggaran Biaya *Green* pada Bangunan Utama *Flour Mill* dengan adanya penambahan fungsi dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Rencana Anggaran Biaya (RAB) Konsep *Green* (sebelum VE)

No.	Uraian	Unit	Jumlah	Harga Satuan	Total Harga
I.	Pengelolaan Tapak				
1.1	Pembuatan Parkir Sepeda dan Shower	Lot	1	25.000.000	25.000.000
II.	Efisiensi Penggunaan Energi				
2.1	Solar Panel PV Model 250 WP	Unit	688	2.375.000	1.634.000.000
2.2	Intalasi Solar Panel PV	Unit	688	850.000	584.800.000
2.3	Battere 48 V 100 Ah	Unit	143	7.000.000	1.001.000.000
2.4	Inverter 25 KW Unit : 3 Phase : 380 V	Unit	41	20.760.000	851.160.000
2.5	Controller MPPT	Unit	1	30.509.500	30.509.500
2.6	Panel AC	Unit	1	14.285.700	14.285.700
2.7	DC Combiner Box	Unit	1	6.000.000	6.000.000
III.	Efisiensi Penggunaan Air				
3.1	Pengadaan dan pemasangan mesin IPAL	Lot	1	1.004.656.000	1.004.656.000
3.2	Pekerjaan Pendahuluan	Lot	1	4.180.000	4.180.000
3.3	Pekerjaan Pondasi dan Atap Mesin IPAL	Lot	1	207.579.000	207.579.000
3.4	Pekerjaan Ruang Alat	Lot	1	37.209.000	37.209.000
3.5	Pekerjaan Tempat Effluent tank & Saluran Air Limbah	Lot	1	110.105.000	110.105.000
3.6	Pekerjaan Pagar Pelindung	Lot	1	38.549.000	38.549.000
IV.	Sertifikasi <i>Green</i> oleh PUPR				
4.1	Biaya Sertifikasi <i>Green</i>	Lot	1	105.000.000	105.000.000
Total					5.654.033.200

Dari data informasi tersebut, kemudian dianalisis dengan distribusi Pareto terkait item pekerjaan masing-masing yang mempunyai bobot pekerjaan masing-masing. Berdasarkan hukum distribusi pareto, pekerjaan yang mempunyai bobot lebih dari 20 % secara umum potensial untuk dilakukan *Value Engineering*, agar dapat menghasilkan kenaikan nilai atau fungsi daripada pekerjaan tersebut sehingga secara total

Tabel 4. Hasil Analisa Faktor Berpengaruh

No.	Sub Faktor	Nilai Original	Terhadap R Square
1.	Performance Proyek Manajer	X.4	0.885
2.	Perhitungan Efisiensi Energi	X.24	0.841
3.	Spesifikasi Teknis	X.8	0.884
4.	Penyediaan Lahan Parkir	X.14	0.851
5.	Aturan Pendukung	X.40	0.857
6.	Sumber Air	X.29	0.837
7.	Fungsi Analisis	X.46	0.886
8.	Penerapan Sistem Penanganan Sampah	X.36	0.856
9.	Pemilihan Material Alternatif	X.52	0.980
10.	Biaya Energi	X.56	0.927

akan mengurangi biaya atau menambah fungsi atau nilai daripada seluruh proyek [34].

Diagram Pareto pada pekerjaan *Green* pada Bangunan Utama *Flour Mill Plant* dapat dilihat pada **Gambar 3** [34].

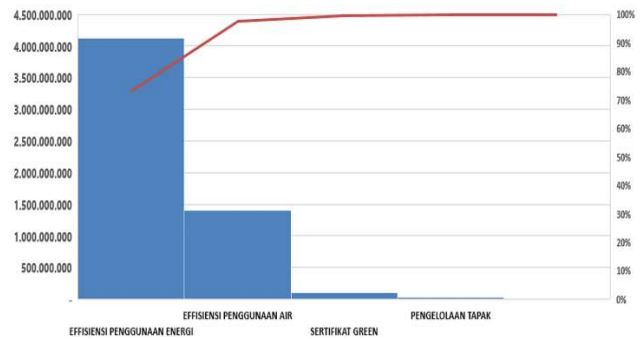
Diagram FAST yang disajikan pada gambar 3 diatas merupakan rangkaian fungsi dari Bangunan *Utama Flour Mill Plant*, dimana secara existing belum adanya fungsi terkait

ramah lingkungan. Penambahan item pekerjaan yang bisa menambah nilai fungsi dengan biaya lebih murah dan ramah lingkungan diperlukan.

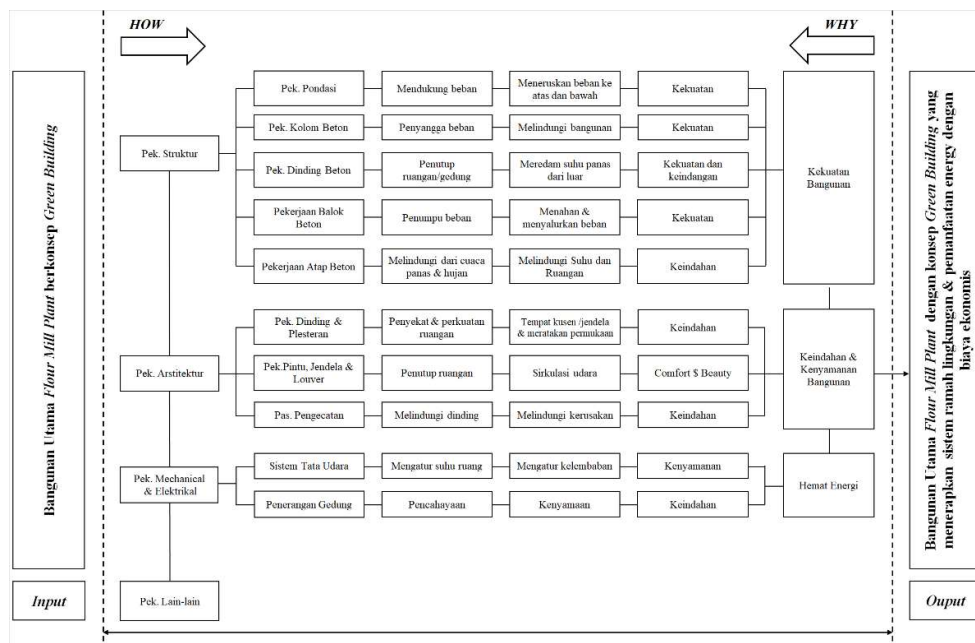
Dari diagram FAST diperoleh item pekerjaan yang bisa di proses *Value engineering* tanpa mengurangi fungsi dengan biaya lebih murah dan ramah lingkungan.

Model logis 'bagaimana-mengapa' digunakan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, mengembangkan, dan memilih fungsi yang dapat menciptakan nilai dan manfaat yang lebih besar bagi pengembangan proyek.

Sehingga diagram FAST terlihat seperti gambar berikut ini menguraikan fungsinya dan di carikan alternatif bahan penggantian



Gambar 3. Digram Pareto



Gambar 4. Digram FAST sebelum penambahan fungsi

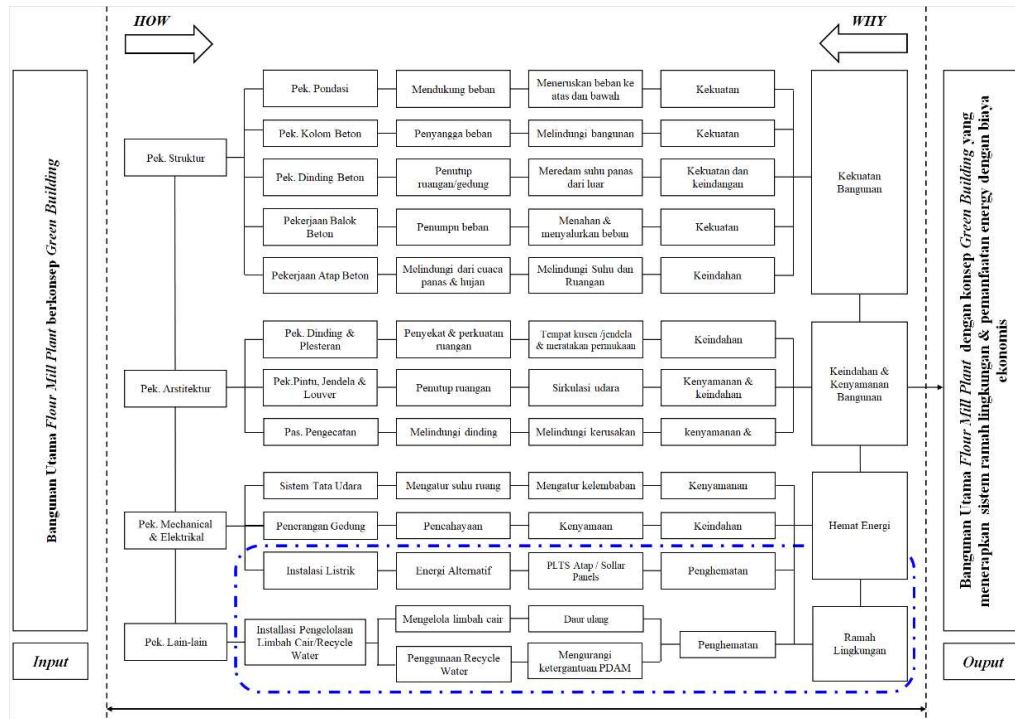
Tabel 6. Identifikasi tambahan Fungsi Ramah Lingkungan

No	Item Pekerjaan	Analisa Fungsi
1.	Pemanfaatan Energy	Pencahayaan Penyaluran Energy listrik Efisiensi Ramah Lingkungan
2.	Recycle Water	Raw material Penggunaan Operasional Pemanfaatan dan Efisiensi Ramah Lingkungan

b. Efisiensi Energi & Recycle Water

Konsep efisien energy dengan penggunaan solar panel dirancang dalam studi kasus ini untuk memperoleh manfaat lebih dan meningkatkan fungsi industri yang ramah

lingkungan. Dengan kata lain, tata surya yang dirancang untuk dapat menghemat efisiensi produksi dan ramah lingkungan.



Gambar 5. Digram FAST setelah penambahan fungsi

Tabel 7. Rencana Anggaran Biaya (RAB) Konsep Green (Sesudah VE)

No.	Uraian	Unit	Jumlah	Harga Satuan	Total Harga
I. Pengelolaan Tapak					
1.1	Pembuatan Parkir Sepeda dan Shower	Lot	1	25.000.000	25.000.000
II. Efisiensi Penggunaan Energi					
2.1	Solar Panel PV Model 250 WP	Unit	380	3.010.000	1.143.800.000
2.2	Intalasi Solar Panel PV	Unit	380	850.000	323.000.000
2.3	Battere 48 V 100 Ah	Unit	143	7.000.000	1.001.000.000
2.4	Inverter 25 KW Unit : 3 Phase : 380 V	Unit	41	20.760.000	851.160.000
2.5	Controller MPPT	Unit	1	30.509.500	30.509.500
2.6	Panel AC	Unit	1	14.285.700	14.285.700
2.7	DC Combiner Box	Unit	1	6.000.000	6.000.000
III. Efisiensi Penggunaan Air					
3.1	Pengadaan dan pemasangan mesin IPAL	Lot	1	1.004.656.000	1.004.656.000
3.2	Pekerjaan Pendahuluan	Lot	1	4.180.000	4.180.000
3.3	Pekerjaan Pondasi dan Atap Mesin IPAL	Lot	1	207.579.000	207.579.000
3.4	Pekerjaan Ruang Alat	Lot	1	37.209.000	37.209.000
3.5	Pekerjaan Tempat Effluent tank & Saluran Air Limbah	Lot	1	110.105.000	110.105.000
3.6	Pekerjaan Pagar Pelindung	Lot	1	38.549.000	38.549.000
IV. Sertifikasi Green oleh PUPR					
4.1	Biaya Sertifikasi Green	Lot	1	105.000.000	105.000.000
Total					4.902.033.200

Tabel 8. Identifikasi tambahan Fungsi Ramah Lingkungan

Komponen	Fungsi		Cost Before VE (Rp.)	Cost After VE (Rp.)
	Verb	Noun		
Efisiensi Energy	Pencahayan dan Operasional Energy	Ramah Lingkungan	4.121.755.200	3.369.755.200
Water Recycle	Pemanfaatan dan Penghematan	Ramah Lingkungan	1.402.278.000	1.402.278.000
Pengelolaan Tapak	Pengurangan Asap bermotor	Ramah lingkungan	25.000.000	25.000.000
Sertifikasi Green	Assesment Green Lable	Ramah Lingkungan	105.000.000	105.000.000
Jumlah Total			5.654.033.200	4.902.033.200
Jumlah Value Engineering (Cost – After Value Engineering)				812.200.000
Prosentasi penghematan Value Engineering Berbasis Green				14,21%

Daya yang terpasang untuk area pabrik tersebut adalah 550,4 KVA, dengan tegangan 380V, dengan 3 phase, perhitungan dengan asumsi DOD (*Depht of discharge*) baterai 80% dan PSH 4 jam (*Peak Sun Hours*), dengan bantuan Sofwtware perhitungan solar panel system off grid oleh team VE, maka dapat diperoleh kapasitas minimal solar panel yang dibutuhkan sebesar 172.29 KWp, jika menggunakan jenis solar panel 450 WP *Monocrystalnye* maka total Solar panel yang dibutuhkan sebesar 380 pcs solar panel < 434 maksimum solar panel untuk jumlah solar panel dengan luasan atap bangunan utama *Flour Mill Plant*, dengan

jumlah baterai kapasitas 48 VDC sebesar 143 pcs dengan inverter 25 KW Unit 3 Phase : 380 V sebanyak 41 pcs. Konsep pemanfaatan dan penggunaan air limbah di perlukan penangan khusus, untuk mendapatkan manfaat yang lebih dan menambah fungsi ramah lingkungan dengan mengurangi pemakaian air bersih. Dengan perencanaan kapasitas tamping air limbah sebesar 923,25 m3, Diharapkan dengan penyaluran air daur ulang ini dapat menghemat penggunaan air bersih mencapai 50% tiap bulannya, serta mendapatkan keuntungan bagi pemangku bisnis.

Tabel 9. Monetary Benefit

Item	Qty	Unit	Value	Total Value	Remarks
Saving Energy	286.208,00	KWh	1.142	326.775.122	65% of rate capacity 550,4 KVA
Water Saving	923,25	M3	12.000	11.079.000	Target saving 50%
Total Monetary Benefit/Bulan (Rp.)					337.854.122
Total Benefit /Tahun (Rp.)					2.756.593.080

Tabel 10. Analisa Kelayakan Proyek

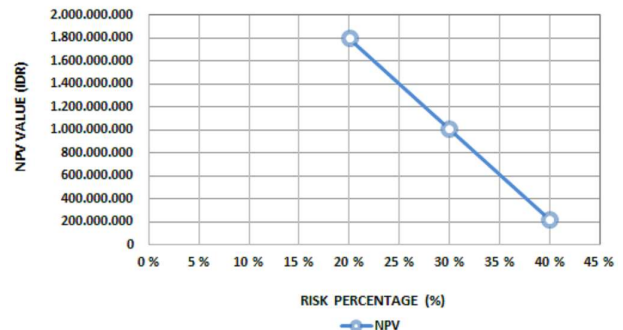
Kriteria Investasi	Nilai	Kesimpulan
NPV	2.644.417.198	Proyek Layak
IRR	37,09 %	Proyek Layak
Payback Period	3 tahun 11,71 bulan	Proyek Layak
Benefit Cost Ratio	1,61	Proyek Layak

e. Analisa Sensitivitas

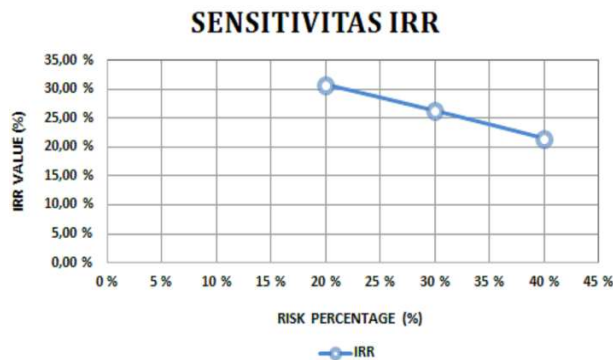
Analisis sensitivitas ini adalah perubahan Life Cycle Cost terhadap tingkat suku bunga (i) dengan kisaran ± 30%. Analisis sensitivitas dilakukan dengan menghitung IRR, NPV, B/C ratio, dan payback period pada beberapa skenario perubahan yang mungkin terjadi. Rekapitulasi hasil perhitungan sensitivitas dimasukkan ke dalam tabel, beserta grafik hasil analisis sensitivitas

Tabel 11. Analisa Sensitivitas

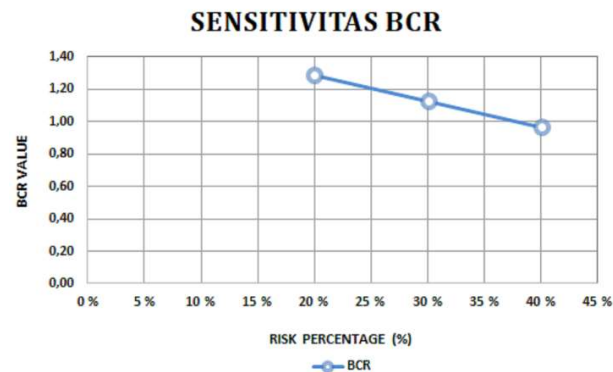
Tingkat Risiko	NPV	IRR	BCR
20%	1.801.281.462	30,77%	1,29
30%	1.009.323.691	26,22%	1,13
40%	217.365.919	21,39%	0,97



Gambar 6. Grafik Analisa Sensitivitas NPV



Gambar 7. Grafik Analisa Sensitivitas IRR



Gambar 8. Grafik Analisa Sensitivitas BCR

Analisa Sensitivitas menunjukkan bahwa dengan NPV sebesar Rp. 1.801.281.462 dengan IRR sebesar 30,77% dengan BCR 1,29, Investasi proyek berada pada tingkat risiko rendah, sehingga layak untuk dilaksanakan.

4. Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam implementasi konsep *Green* pada bangunan utama *Flour Mill Plant* dengan menggunakan metode *Value Engineering* dan *Life Cycle Cost Analysis* berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja biaya *Green*.

Analisis SEM-PLS di dapatkan 10 (sepuluh) faktor-faktor yang paling berpengaruh adalah Performance Proyek Manajer, Perhitungan Efisiensi Energi, Spesifikasi Teknis, Penyediaan Lahan Parkir, Aturan Pendukung, Sumber Air, Fungsi Analisis, Penerapan sistem penanganan sampah, pemilihan material alternatif dan Biaya energi.

Dengan penerapan metode *Value engineering* dapat menghemat biaya proyek yaitu sebesar 14,21% atau Rp. 812.200.000, -

Analisis implementasi *Life Cycle Cost Analysis* untuk pengembalian modal pembangunan berkonsep *Green* pada Bangunan Utama *Flour Mill Plant* membutuhkan waktu = 3,11 Tahun; 3 Tahun 11 Bulan atau dibawah target

pengembalian (BEP = 4 tahun) dan selanjutnya, proyek ini dapat dinyatakan layak untuk dilaksanakan.

Daftar Pustaka

- [1] Y. H. Ahn, C. W. Jung, M. Suh, and M. H. Jeon, "Integrated Construction Process for Green Building," *Procedia Eng.*, vol. 145, pp. 670–676, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.065.
- [2] M. Robati, P. Oldfield, A. A. Nezhad, D. G. Carmichael, and A. Kuru, "Carbon value engineering: A framework for integrating embodied carbon and cost reduction strategies in building design," *Build. Environ.*, vol. 192, no. October 2020, p. 107620, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107620.
- [3] S. N. Saajidah and I. W. Sukadana, *Elastisitas permintaan gandum dan produk turunan gandum di Indonesia*, vol. 13, no. 1. 2020.
- [4] A. Ebrahim and A. S. Wayal, "BIM based building performance analysis of a green office building," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 8, no. 8, pp. 566–573, 2019.
- [5] B. G. Hwang, M. Shan, and E. K. Tan, "Investigating reworks in green building construction projects: Magnitude, influential factors, and solutions," *Int. J. Environ. Res.*, vol. 10, no. 4, pp. 499–510, 2016.
- [6] H. Bon-Gang, "Cost Premium, Performance and Improvement of Green Construction Projects," *Perform. Improv. Green Constr. Proj.*, pp. 103–118, 2018, doi: 10.1016/b978-0-12-815483-0.00008-9.
- [7] İ. Dinçer, "Renewable Energy Resources," *Energy Concepts Appl.*, pp. 185–286, 2022, doi: 10.53478/tuba.978-625-8352-00-9.ch04.
- [8] F. R. Abduh M, "Kajian Sistem Assessment Proses Konstruksi Pada Greenship Rating Tool," *KoNTekS 6*, vol. 1–2, no. November, pp. 111–120, 2012.
- [9] A. Rauzana, R. S. Oktari, and W. Dharma, "The Impact of Green Construction Factors on Project Cost in Banda Aceh," *Int. J. Sci. Res. Eng. Dev.*, vol. 3, no. November, 2020, [Online]. Available: www.ijrsred.com.
- [10] H. A. Rani, *Konsep Value Engineering dalam Manajemen Proyek Konstruksi Construction Project Management View project Irrigation Project View project*, no. May. 2022.
- [11] B. O. F. Knowledge, "Value Standard," *Save*, no. June, 2007.
- [12] W. T. Chen, H. C. Merrett, S. Liu, N. Fauzia, and F. N. Liem, "A Decade of Value Engineering in Construction Projects," vol. 2022, 2022.
- [13] A. E. Husin, "Model Aliansi Strategis Dalam

- Kemitraan Pemerintah dan Swasta Pada Mega Proyek Infrastruktur Berbasis Value Engineering Untuk Meningkatkan Nilai Kelayakan Proyek,” pp. 1–337, 2015.
- [14] T. C. Marrana, J. D. Silvestre, J. de Brito, and R. Gomes, “Lifecycle Cost Analysis of Flat Roofs of Buildings,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 143, no. 6, p. 04017014, 2017, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001290.
- [15] C. Study, N. Correia, P. Samani, and J. Gregory, “Lifecycle Cost Analysis of Prefabricated Composite and Masonry Buildings : Comparative Study,” vol. 24, no. 1, pp. 1–11, 2018, doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000288.
- [16] Y. Li, H. Song, P. Sang, P. H. Chen, and X. Liu, “Review of Critical Success Factors (CSFs) for green building projects,” *Build. Environ.*, vol. 158, pp. 182–191, 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.05.020.
- [17] F. Fodhil, A. Hamidat, and O. Nadjemi, “Potential, optimization and sensitivity analysis of photovoltaic-diesel-battery hybrid energy system for rural electrification in Algeria,” *Energy*, vol. 169, pp. 613–624, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2018.12.049.
- [18] H. Caswell, *Sensitivity Analysis: Matrix Methods in Demography and Ecology*. 2019.
- [19] J. F. Hair Jr, G. T. M. Hult, C. M. Ringle, M. Sarstedt, N. P. Danks, and S. Ray, *Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook*. 2021.
- [20] A. E. Y. Al-Hosani and N. B. A. Rashid, “Conceptual framework of the critical success factors of green building towards sustainable construction in United Arab Emirates,” *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, pp. 4455–4463, 2021.
- [21] Y. Li, H. Song, P. Sang, P. H. Chen, and X. Liu, “Review of Critical Success Factors (CSFs) for green building projects,” *Build. Environ.*, vol. 158, no. May, pp. 182–191, 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.05.020.
- [22] M. Gunduz and M. Almuajebh, “Critical success factors for sustainable construction project management,” *Sustain.*, vol. 12, no. 5, 2020, doi: 10.3390/su12051990.
- [23] A. I. Imron and A. E. Husin, “Peningkatan Kinerja Biaya Berbasis Value Engineering Pada Proyek Green Hospital,” *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 19, no. 3, p. 323, 2021, doi: 10.12962/j2579-891x.v19i3.9144.
- [24] A. D. A. Dengan and K. Disarankan, “Lampiran2021PermenPUPR21,” 2021.
- [25] A. F. Kineber, I. Othman, A. E. Oke, N. Chileshe, and M. K. Buniya, “Identifying and assessing sustainable value management implementation activities in developing countries: The case of Egypt,” *Sustain.*, vol. 12, no. 21, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/su12219143.
- [26] T. Karolina, A. E. Husin, and B. Susetyo, “Analysis of Key Success Factors on the Improvement Façade Performance of High-Rise Hotels Based on Green Building and Value Engineering Using the RII ...,” *Academia.Edu*, vol. 8, no. February, pp. 569–577, 2021, [Online]. Available: <https://www.academia.edu/download/65886310/IJRR071.pdf>.
- [27] Ariadi, “Faktor Kunci Sukses Penerapan Value Engineering (Ve) Pada Bangunan Gedung Di Indonesia,” *Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 77–85, 2017.
- [28] A. E. Husin, “Implementation Value Engineering In Diaphragm Wall at High Rise Building,” vol. 8, no. 1, pp. 16–23, 2019.
- [29] Z. Zhan *et al.*, “BIM-Based Green Hospital Building Performance Pre-Evaluation: A Case Study,” *Sustain.*, vol. 14, no. 4, pp. 1–21, 2022, doi: 10.3390/su14042066.
- [30] S. K. Fuller and S. R. Petersen, *LCCosting Manual for the Federal Energy Management Program*, no. 135. 1996.
- [31] E. Plebankiewicz, “Model of Predicting Cost Overrun in Construction Projects,” 2018, doi: 10.3390/su10124387.
- [32] M. Sarstedt, “The Great Facilitator,” *Gt. Facil.*, no. March, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-06031-2.
- [33] J. F. Hair, M. Sarstedt, L. Hopkins, and V. G. Kuppelwieser, “Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): An emerging tool in business research,” *Eur. Bus. Rev.*, vol. 26, no. 2, pp. 106–121, 2014, doi: 10.1108/EBR-10-2013-0128.
- [34] K. F. Al-Salahi, K. K. Naji, and M. Gunduz, “Evaluation of the critical success factors (CSFs) in selecting building contractors using pareto analysis and the analytical hierarchy process,” *J. Eng. Res.*, vol. 8, no. 4, pp. 1–15, 2020, doi: 10.36909/JER.V8I4.9123.

Halaman ini sengaja dikosongkan