

***PENENTUAN ALTERNATIF MATERIAL PADA KOMPONEN UTAMA
MEJA HYDRAULIC DENGAN PENDEKATAN MULTI CRITERIA
DECISION MAKING PROMETHEE-GAIA PADA ZONA
PENGECATAN DI PT.PINDAD (PERSERO)***

Dhia Ahmad Rafii¹⁾, Chevy Herli Sumerli²⁾, Yogi Yogaswara³⁾
^{1, 2 & 3)}Program Pascasarjana Magister Teknik Industri, Universitas Pasundan
Email²⁾: dhiaahmadr@gmail.com

ABSTRAK

Dalam pelaksanaan sebuah produksi pada industri manufaktur tentu tidak akan lepas dari beragam resiko bagi pekerja lapangan yang melakukan pekerjaannya dengan berhadapan langsung dengan produk seperti kecelakaan kerja, kelelahan berlebih, kesehatan pekerja dan permasalahan pada Musculoskeletal pekerja. penelitian yang akan dilakukan maka akan dilakukan pemilihan material pembangun untuk komponen utama dari meja Hydraulic dengan menggunakan Multi Criteria Decision Making dan menggunakan metode Promethee-Gaia. Dalam penelitian ini akan dilakukan pemilihan material terhadap enam komponen utama dari rancangan meja Hydraulic yang Dimana terdiri kotak mesin, katup mesin, kaki meja, Lifting Cylinder Box, meja, dan Object Lock. Komponen-komponen tersebut kemudian akan dilakukan pemilihan jenis material pembangun yang dimana material tersebut terdiri dari Alloy Steel, Galvanized Steel, Ductile Iron, dan aluminium 6061.

Kata Kunci : Multi Criteria Decision Making, Meja Hydraulic, Promethee, Gaia, Perancangan Biaya Material

1. PENDAHULUAN

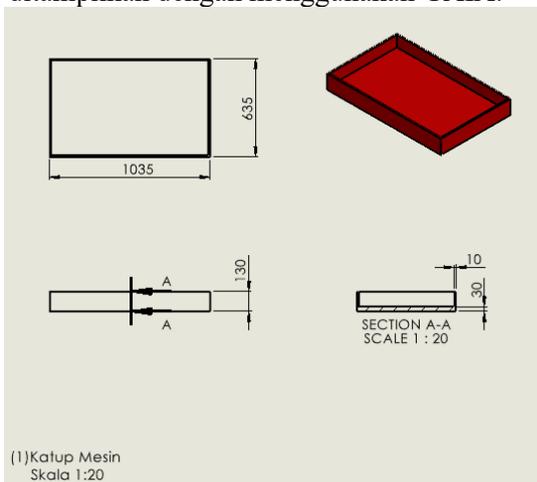
Dalam pelaksanaan sebuah produksi pada industri manufaktur tentu tidak akan lepas dari beragam resiko bagi pekerja lapangan yang melakukan pekerjaannya dengan berhadapan langsung dengan produk seperti kecelakaan kerja, kelelahan berlebih, kesehatan pekerja dan permasalahan pada *Musculoskeletal* pekerja. Dalam penelitian sebelumnya yang berjudul "Perancangan Alat Bantu dengan menggunakan pendekatan ergonomi OWAS pada zona pengecatan di PT.Pindad" oleh Dhia Ahmad Rafii (2021) menjelaskan bahwa pada penelitiannya menghasilkan kesimpulan pada zona kerja pengecatan pada produksi Excava 200 di PT. Pindad mengalami permasalahan *Musculoskeletal* pada pekerja terutama pada bagian tubuh dari pinggang ke atas dengan nilai skor pada metode OWAS yang tinggi dan diperlukannya ada perbaikan. Pada penelitian tersebut dalam mengatasi permasalahan yang dihadapi maka dibuatlah perancangan produk berupa meja *Hydraulic* yang dimana meja tersebut memiliki fungsi sebagai penompang bagian tertentu untuk disimpan di meja dan meja tersebut memiliki fitur untuk mengunci produk agar tidak keluar dari meja dan mempertahankan posisinya, meja tersebut dapat diatur tingkat ketinggiannya, dan meja tersebut dapat diatur perputaran dari meja sehingga dapat mempermudah pekerja dalam melakukan pekerjaannya dan mengurangi terjadinya resiko *Musculoskeletal* yang terjadi. Pada penelitian tersebut juga menghasilkan hasil skor pengukuran dari rancangan produk meja *Hydraulic* dan mealakukan simulasi digital dengan *software* 3D dan dilakukan pengukuran kembali dengan metode OWAS yang dimana hasil dari pengukuran berada pada skor rendah sehingga tidak perlu dilakukannya perbaikan. Dalam penelitian yang akan dilakukan maka akan dilakukan pemilihan material pembangun untuk komponen utama dari meja *Hydraulic* dengan menggunakan *Multi Criteria Decision Making* dan menggunakan metode Promethee-Gaia. Dalam penelitian ini akan dilakukan pemilihan material terhadap enam komponen utama dari rancangan meja *Hydraulic* yang Dimana terdiri kotak mesin, katup mesin, kaki meja, *Lifting Cylinder Box*, meja, dan *Object Lock*.

Komponen-komponen tersebut kemudian akan dilakukan pemilihan jenis material pembangun yang dimana material tersebut terdiri dari *Alloy Steel*, *Galvanized Steel*, *cast iron*, dan aluminium 6061. Material tersebut digunakan dengan tujuan utama adalah sifat dari material yang keras atau kokoh dan

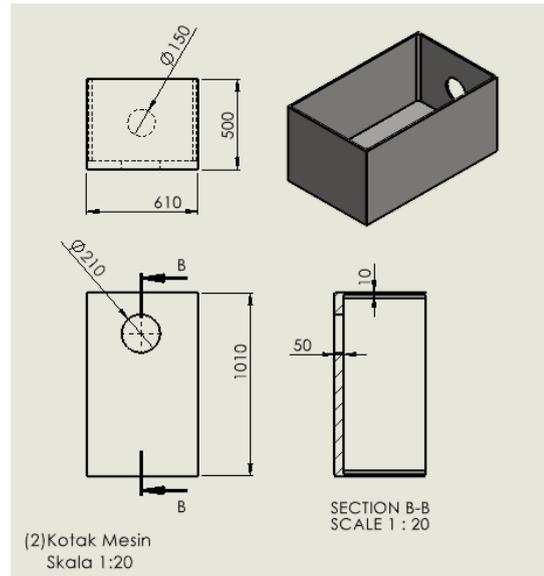
material tersebut adalah material yang dapat disediakan oleh perusahaan sehingga dalam ukuran harga dan nilai harga ditentukan oleh perusahaan. Material-material yang digunakan memiliki sifat yang diantaranya terdiri dari *Elastic Modulus*, *Poisson Ration*, *Shear Modulus*, *Mass Density*, *Mass Density*, dan *Yield Strength*. Dimana *Elastic Modulus* merupakan sifat material dari jenis besi yang dimana merupakan kemampuan material dalam menahan bentuk hingga mengalami deformasi atau elastisitas material, *Poisson Ratio* merupakan bagaimana material menahan kontraksi lateral yang dibandingkan dengan regangan longitudinal dan ditarik secara linear, *Shear Modulus* merupakan sifat material dalam menahan tekanan geser hingga terjadinya deformasi, *Mass Density* merupakan sifat kerapatan dari material secara volume benda, *Mass Density* merupakan tegangan maksimum dari sebuah material hingga terjadinya deformasi atau patah, dan *Yield Strength* merupakan titik dimana material mengalami deformasi yang bersifat permanen.

Berdasarkan dari kriteria yang sudah diketahui maka akan dilakukan pengurutan atau perankingan jenis material untuk memilih alternatif terbaik dari pilihan material yang tersedia berdasarkan dari nilai kriteria yang telah diketahui dengan menggunakan *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) dengan pendekatan Promethee-Gaia, dimana Promethee adalah *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (Promethee) merupakan pendekatan yang digunakan untuk membandingkan alternatif berdasarkan serangkaian kriteria yang telah ditentukan. Ini melibatkan langkah-langkah seperti pengukuran preferensi, peringkat preferensi, dan pengurutan alternatif berdasarkan peringkat ini. Metode memungkinkan untuk menangani ketidakpastian dan ketidaktertentuan dalam pengambilan keputusan dengan memperhitungkan preferensi yang relatif dan bobot kriteria yang berbeda. Berdasarkan dari (Indriantoro & Utami, 2016) PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) merupakan salah satu metode dari MCDM (*Multi Criteria Decision Making*) untuk penentuan urutan (prioritas) dalam analisis. Masalah pokoknya adalah kesederhanaan, kejelasan, dan kestabilan. Sangat tepat untuk digunakan karena dugaan dari dominasi kriteria yang digunakan dalam promethee adalah penggunaan nilai dalam hubungan *outranking*. Sehingga diperoleh solusi atau hasil dari beberapa alternatif untuk diambil sebuah keputusan. Dalam penggunaan metode Promethee juga menggunakan *Pairwise*

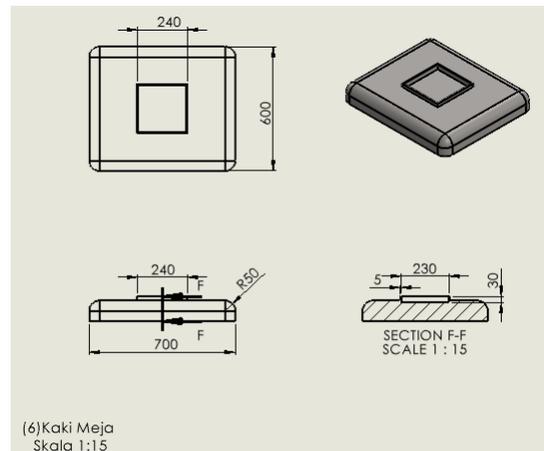
Comparison sebagai alat untuk memberikan beban tertentu kepada kriteria dari setiap alternatif yang tersedia. Untuk memperoleh derajat hubungan preferensi antar alternatif perlu dilakukan menunjukkan bobot kriteria, yang mewakili kepentingan relatif setiap kriteria. Kemudian Indeks Global Preferensi diperoleh, menunjukkan preferensi global antara sepasang alternatif, memungkinkan menghasilkan arus yang mengungguli, mewakili kinerja masing-masing alternatif mengenai yang lain dalam konteks masalah. Sementara itu GAIA adalah alat analisis geometris yang digunakan untuk memvisualisasikan dan memahami hubungan antara kriteria dan alternatif dalam ruang keputusan. Ini memungkinkan pengguna untuk melihat bagaimana alternatif berada dalam hubungannya dengan kriteria dan bagaimana kriteria saling berhubungan satu sama lain. GAIA memfasilitasi pemahaman yang lebih baik tentang struktur ruang keputusan dan dapat membantu dalam mengidentifikasi alternatif yang paling diinginkan. Sehingga metode Promethee-Gaia merupakan metode dimana dilakukannya pengurutan alternatif yang tersedia untuk mendapatkan pilihan yang dinilai paling baik dari pilihan lainnya dan ditampilkan dengan menggunakan GAIA.



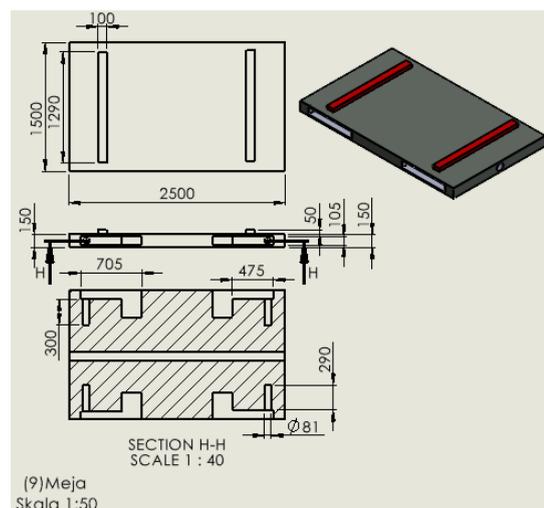
Gambar I. 1 Katup Mesin



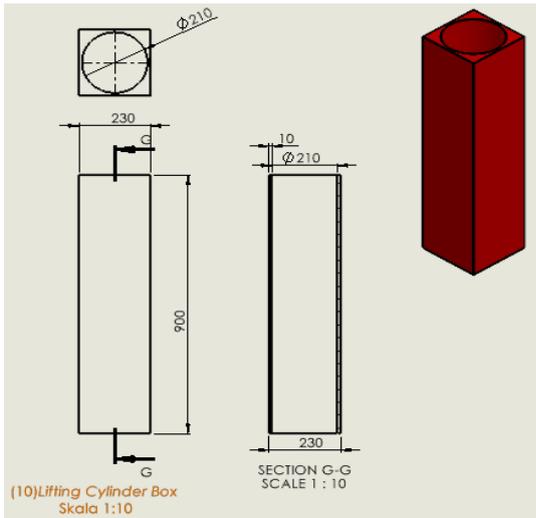
Gambar I. 2 Kotak Mesin



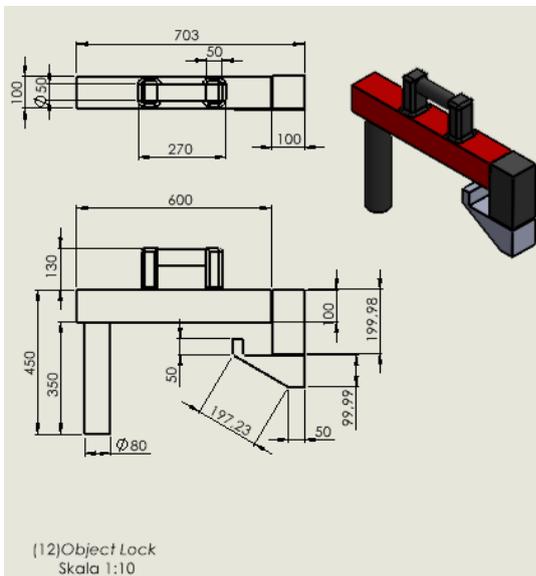
Gambar I. 3 Kaki Meja



Gambar I. 4 Meja



Gambar I. 5 Lifting Cylinder Box



Gambar I. 6 Object Lock

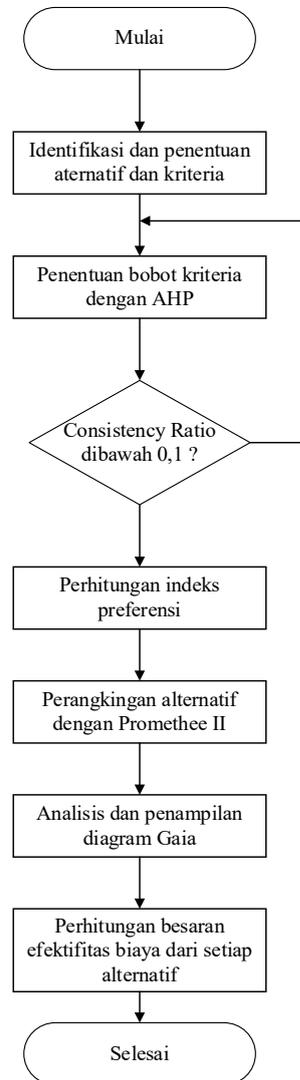
2. TUJUAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari pendahuluan yang telah dibuat, maka dapat disimpulkan adanya rumusan masalah dari jurnal ini yaitu :

1. Berdasarkan jenis material yang telah diketahui maka bagaimana urutan perangkaian material berdasarkan metode Promethee-Gaia ?
2. Berapa besaran nilai efektifitas biaya dari material pembangun komponen utama dari meja *Hydraulic* ?

3. METODOLOGI PENGUKURAN

Berikut merupakan Flowchart pengukuran yang dilakukan dalam penelitian sebagai berikut.



Pada penelitian ini akan dilakukan dua metode pengukuran penelitian yang akan dipaparkan pada poin-poin berikut:

3.1. Multi Criteria Decision Making

Figueira, Greco, dan Ehrgott [1] memberikan definisi MCDM sebagai disiplin yang mencakup berbagai metode dan teknik untuk membantu pengambil keputusan dalam mengevaluasi dan memilih alternatif terbaik ketika terdapat beberapa kriteria yang harus dipertimbangkan. Mereka menekankan bahwa MCDM adalah tentang membuat keputusan yang lebih baik dengan mempertimbangkan berbagai perspektif dan tujuan. Silva dan Mota [2] meneliti penggunaan PROMETHEE dalam implementasi lean manufacturing. Mereka mengembangkan kerangka kerja yang menggunakan PROMETHEE untuk menilai dan memilih alat serta teknik lean yang paling efektif untuk diterapkan dalam proses manufaktur. Penelitian mereka menunjukkan bahwa PROMETHEE

dapat membantu mengidentifikasi area yang paling membutuhkan perbaikan dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa MCDM merupakan sebuah metodologi yang dapat digunakan dalam melakukan penentuan suatu opsi atau alternatif berdasarkan kriteria tertentu yang bersifat berhubungan baik dalam bidang pengukuran yang sama maupun dalam bidang pengukuran yang berbeda. Penggunaan MCDM dapat juga dilakukan dalam beragam sektor Perusahaan baik itu sektor manufaktur maupun sektor jasa sehingga MCDM menjadi suatu metodologi yang fleksibel secara penggunaannya. MCDM merupakan teknik penentuan sebuah objek dengan melakukan pengurutan beberapa kriteria yang dimiliki objek yang dimana kriteria yang dimiliki objek tersebut yang kemudian diolah secara kuantitatif dan kualitatif hingga menghasilkan sebuah urutan perankingan untuk objek yang diteliti dari yang terbaik hingga terendah penilaian dari pengukuran kriteria yang dilakukan. Dalam melaksanakan MCDM perlu dilakukan observasi terhadap objek penelitian yang dimana objek penelitian terdiri beberapa objek atau terdiri beberapa alternatif yang dimana kemudian akan ditentukan kriteria pengukuran dari setiap objek penelitian dan kriteria tersebut memiliki keterhubungan antara satu sama lain dan terhadap objek itu sendiri

3.1.1. Alternatif Material Pembangun Meja Hydraulic

Speer J. [3] *High-Strength Low-Alloy (HSLA)* steel telah memungkinkan penggunaan baja yang lebih ringan namun kuat. Baja tahan karat terus menjadi pilihan utama dalam industri yang membutuhkan ketahanan terhadap korosi serta memiliki kekuatan yang tinggi dalam menahan beban dengan skala besar. Material pembangun produk merupakan material yang digunakan untuk pembangunan atau pembuatan atau produksi sebuah produk dimana material tersebut berperan sebagai inti dari terbentuknya produk yang dimana produk tersebut memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap jenis material yang digunakan. Adapun berikut penjelasan mengenai jenis material yang digunakan dalam melakukan Pembangunan produk meja *Hydraulic*.

1. *Alloy Steel* merupakan jenis baja yang memiliki unsur paduan tambahan selain karbon, seperti mangan, nikel, kromium, molibdenum, vanadium, silikon, dan boron. Penambahan unsur-unsur ini memberikan

sifat mekanik dan fisik yang lebih baik, seperti kekuatan, kekerasan, ketahanan terhadap korosi, dan kemampuan pengerjaan panas. *Alloy Steel* sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan performa tinggi seperti di industri otomotif, konstruksi, energi, dan peralatan berat. Dr. Richard K. Wilson [4] meneliti peran elemen paduan dalam meningkatkan ketangguhan dan ketahanan aus dari baja paduan. Penelitiannya menunjukkan bahwa kromium dan mangan secara signifikan meningkatkan ketangguhan baja, membuatnya cocok untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan aus tinggi seperti peralatan pertambangan dan konstruksi.

2. *Galvanized Steel* adalah baja yang telah dilapisi dengan seng untuk mencegah korosi. Proses galvanisasi memperpanjang umur baja dengan memberikan lapisan pelindung yang mengorbankan seng sebagai anoda, sehingga baja di bawahnya tetap terlindungi. Dr. Maria Angela Fernandez [5] memfokuskan penelitiannya pada efek dari proses galvanisasi panas dan elektrogalvanisasi terhadap mikrostruktur dan ketahanan korosi baja. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa galvanisasi panas memberikan perlindungan yang lebih baik di lingkungan yang sangat korosif dibandingkan elektrogalvanisasi.

3. *Ductile Iron* (besi ulet) adalah jenis besi cor yang dicirikan oleh sifat mekanik yang superior dibandingkan dengan besi cor biasa, terutama dalam hal keuletan dan ketangguhan. Dr. Richard A. Williams [6] mengkaji pengaruh pendinginan cepat pada Ductile Iron. Penelitiannya menunjukkan bahwa teknik pendinginan cepat dapat meningkatkan ketahanan aus dan kekerasan tanpa mengurangi keuletan material.

4. Aluminium 6061 merupakan paduan yang sering digunakan dalam industri alat berat karena sifat mekaniknya yang unggul, termasuk kekuatan yang baik, ketahanan terhadap korosi, dan kemampuan untuk diolah dengan berbagai teknik manufaktur.

3.1.2. Kriteria Material Pembangun

Material pembangun dari meja Hydraulic memiliki kriteria material yang perlu di penuhi yang dimana kriteria ini berpengaruh terhadap pembangunan produk dengan tujuan yang dimilikinya dengan faktor-faktor yang telah dijelaskan. Kriteria tersebut terdiri dari Elastic Modulus, Poisson Ratio, Shear Modulus, Mass Density, Mass Density dan Yield Strength. Berikut merupakan penjelasan mengenai tiap kriteria yang telah ditentukan.

1. Elastic modulus Callister, W.D., Jr., & Rethwisch, D.G. [7] menjelaskan bahwa

- Elastic Modulus adalah rasio tegangan terhadap regangan dalam batas elastis material, yaitu dalam wilayah di mana material akan kembali ke bentuk asalnya setelah gaya dihilangkan. Elastic Modulus merupakan ukuran kekakuan suatu material. Nilai ini menunjukkan kemampuan material untuk menahan deformasi elastis ketika gaya diterapkan padanya. Untuk logam (metal), Elastic Modulus adalah salah satu properti mekanik yang paling penting karena mempengaruhi bagaimana material tersebut akan berperilaku di bawah beban. Elastic Modulus adalah properti kritis yang menggambarkan kekakuan logam. Nilai yang tinggi menunjukkan bahwa logam dapat menahan beban besar dengan deformasi minimal, membuatnya ideal untuk aplikasi struktural dan teknik. Nilai Elastic Modulus menjadi salah satu kriteria dikarenakan material pembangun dari alternatif yang tersedia harus memiliki nilai tahan yang baik terhadap deformasi elastis dengan tujuan untuk mendapatkan performa yang sesuai dengan kinerja meja Hydraulic yang bersangkutan dengan objek kerja yang memiliki beban massa yang cukup besar sehingga kriteria ini diperlukan untuk memenuhi hal tersebut, selain hal tersebut juga kriteria ini diperlukan untuk ketahanan dan umur jangka penggunaan yang lebih lama dari komponen utama.
2. Poisson Ratio, Ashby, M.F., & Jones, D.R.H. [8] Ashby dan Jones membahas pentingnya Poisson's Ratio dalam desain teknik. Nilai ini mempengaruhi perilaku material di bawah beban kompleks dan digunakan dalam analisis struktur untuk menghitung distribusi tegangan dan deformasi. Nilai Rendah ($< 0,30$) Material dengan nilai Poisson's Ratio yang lebih rendah cenderung mengalami lebih sedikit kontraksi lateral ketika diregangkan. Besi cor, misalnya, menunjukkan nilai yang lebih rendah, yang mencerminkan kekakuan dan kecenderungan lebih besar untuk retak di bawah beban tarik. Nilai Tinggi ($> 0,30$) Material dengan nilai Poisson's Ratio yang lebih tinggi menunjukkan lebih banyak deformasi lateral relatif terhadap regangan aksial. Ini berarti material ini lebih elastis dalam hal deformasi lateral saat mengalami tegangan. Semakin kecil nilai ratio dari sebuah material maka semakin kaku material tersebut terhadap tegangan beban yang diberikan.
 3. Shear modulus, Callister dan Rethwisch [7] menjelaskan bahwa Shear Modulus adalah salah satu dari tiga modulus elastis utama yang digunakan untuk menggambarkan sifat elastis bahan, bersama dengan modulus Young dan modulus bulk. Mereka menekankan bahwa Shear Modulus berkaitan erat dengan kekuatan ikatan antar atom dalam struktur kristal logam. Shear Modulus (modulus geser) atau modulus kaku (G) adalah ukuran kekakuan suatu bahan terhadap deformasi geser. Ini didefinisikan sebagai rasio tegangan geser (shear stress) terhadap regangan geser (shear strain). Struktur kristal dari logam sangat mempengaruhi Shear Modulus. Misalnya, logam dengan struktur kristal face-centered cubic (FCC) seperti aluminium dan tembaga cenderung memiliki Shear Modulus yang lebih rendah dibandingkan dengan logam dengan struktur body-centered cubic (BCC) seperti baja.
 4. Mass Density, Callister dan Rethwisch [7] menjelaskan bahwa densitas massa adalah sifat material yang sangat fundamental dan terkait erat dengan struktur atom dan ikatan antar atom dalam material. Mereka menekankan pentingnya densitas dalam desain material dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan termal. Densitas massa adalah sifat fisik fundamental dari logam yang mempengaruhi berbagai aplikasi teknik dan ilmiah. Pemahaman yang mendalam tentang densitas massa dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, seperti struktur kristal, komposisi kimia, suhu, dan tekanan, sangat penting dalam desain dan analisis material.
 5. Tensile strength, Tensile Strength atau kekuatan tarik adalah ukuran kemampuan suatu material untuk menahan gaya tarik yang mencoba meregangkan atau menariknya hingga putus. Kekuatan tarik adalah salah satu sifat mekanik yang paling penting dari logam karena menentukan seberapa kuat material tersebut dalam menahan beban tarik tanpa mengalami kegagalan atau deformasi permanen. Ultimate Tensile Strength (UTS) adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum mengalami patah atau putus. Dengan nilai Tensile Strength yang semakin tinggi maka material tersebut semakin kuat dalam penggunaan dengan daya tahan yang lebih tinggi dan semakin rendah nilai Tensile Strength maka material tersebut semakin rentan terhadap deformasi.
 6. Yield Strength, Ini adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh sebuah material sebelum mengalami deformasi

permanen atau luluh. Konsep Yield Strength didasarkan pada perilaku mikroskopis material, khususnya pada gerakan dislokasi dalam struktur kristal. Dislokasi adalah cacat kristal linear di dalam material yang dapat bergerak saat material diberi beban, memungkinkan deformasi plastis terjadi. Saat beban diterapkan, dislokasi mulai bergerak dan berinteraksi satu sama lain, yang menghasilkan perubahan bentuk material. Pada titik Yield Strength, jumlah dislokasi dan interaksi antar mereka mencapai titik di mana deformasi plastis menjadi dominan. Dislokasi adalah cacat kristal linear di dalam material yang dapat bergerak saat material diberi beban, memungkinkan deformasi plastis terjadi. Saat beban diterapkan, dislokasi mulai bergerak dan berinteraksi satu sama lain, yang menghasilkan perubahan bentuk material. Dengan nilai Yield Strength yang semakin tinggi maka material tersebut memiliki daya tahan terhadap beban yang tinggi sebelum terjadinya deformasi terhadap material.

3.1.3. *Promethee II*

Dr. Philippe Vincke [9] menjelaskan bahwa PROMETHEE adalah salah satu metode MCDA yang dikembangkan untuk membantu dalam proses pengambilan keputusan yang kompleks di mana banyak kriteria harus dipertimbangkan. PROMETHEE didasarkan pada perbandingan berpasangan (pairwise comparisons) dari alternatif-alternatif yang ada, dengan mempertimbangkan setiap kriteria yang relevan. Metode ini menggunakan fungsi preferensi yang membantu dalam menentukan tingkat preferensi satu alternatif dibandingkan dengan yang lain. PROMETHEE II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) adalah metode pengambilan keputusan multi-kriteria yang kompleks namun intuitif. Prosesnya melibatkan serangkaian langkah pengukuran dan perhitungan yang membantu dalam memberikan peringkat lengkap dari alternatif-alternatif yang dievaluasi berdasarkan beberapa kriteria. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran Promethee II dengan menggunakan Software Visual Promethee dan kemudian dilanjutkan dengan penampilan diagram Gaia dengan software Visual Promethee.

Dalam melakukan metode PROMETHEE terdiri dari beberapa tahapan yaitu :

1. Penentuan Kriteria dan Bobot: Mengidentifikasi kriteria yang relevan

untuk keputusan dan menetapkan bobot untuk setiap kriteria berdasarkan kepentingannya.

2. Evaluasi Alternatif: Setiap alternatif dievaluasi berdasarkan setiap kriteria.
3. Perbandingan Berpasangan: Melakukan perbandingan berpasangan untuk semua alternatif menggunakan fungsi preferensi.
4. Kalkulasi Indeks Preferensi: Menghitung indeks preferensi untuk setiap pasangan alternatif.
5. Penghitungan *Flow* Positif dan Negatif: Menghitung *flow* positif (*leaving flow*) dan *flow* negatif (*entering flow*) untuk setiap alternatif.
6. Peringkat Alternatif: Menentukan peringkat akhir alternatif berdasarkan nilai-nilai *flow*.

Melakukannya maka perlu dimasukkan data ke software Visual Promethee pada tabel berikut.

Tabel III. 1 Data Kriteria Material Alternatif

Jenis Material	Kriteria Material					
	Elastic modulus	Poisson ratio	Shear modulus	Mass density	Tensile strength	Yield strength
Alloy Steel	210 Gpa	0,29	80 Gpa	7,8 g/cm ³	850 MPa	500 MPa
Galvanized Steel	200 GPa	0,28	75 Gpa	7,7 g/cm ³	600 MPa	450 MPa
Ductile Iron	170 Gpa	0,31	70 Gpa	7,1 g/cm ³	450 Mpa	300 MPa
Aluminium 6061	69 Gpa	0,33	26 Gpa	2,7 g/cm ³	310 Mpa	275 MPa

Dengan data tersebut juga diperlukan pengukuran bobot kriteria dan *threshold* untuk melakukan pengukuran Promethee II dengan software Visual Promethee. Berikut merupakan hasil dari pengukuran bobot kriteria dengan menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) pada tabel berikut.

Tabel III. 2 Hasil pengukuran bobot kriteria

	Bobot Kriteria							Rata-rata	Bobot
	elastic modulus	poisson ratio	shear modulus	mass density	tensile strengt	yield strengt			
elastic modulus	0,482	0,507	0,577	0,292	0,395	0,326	0,430	42,964%	
poisson ratio	0,096	0,101	0,064	0,208	0,237	0,196	0,150	15,044%	
shear modulus	0,161	0,304	0,192	0,208	0,237	0,196	0,216	21,629%	
mass density	0,069	0,020	0,038	0,042	0,026	0,022	0,036	3,621%	
tensile strength	0,096	0,034	0,064	0,125	0,079	0,196	0,099	9,897%	
yield strength	0,096	0,034	0,064	0,125	0,026	0,065	0,068	6,846%	

Setelah didapatkan nilai pengukuran bobot kriteria maka dilakukan pengukuran threshold sebagai data berikutnya dalam pengukuran Promethee II dengan software Visual Promethee. Berikut merupakan hasil pengukuran threshold.

Tabel III. 3 Hasil pengukuran threshold

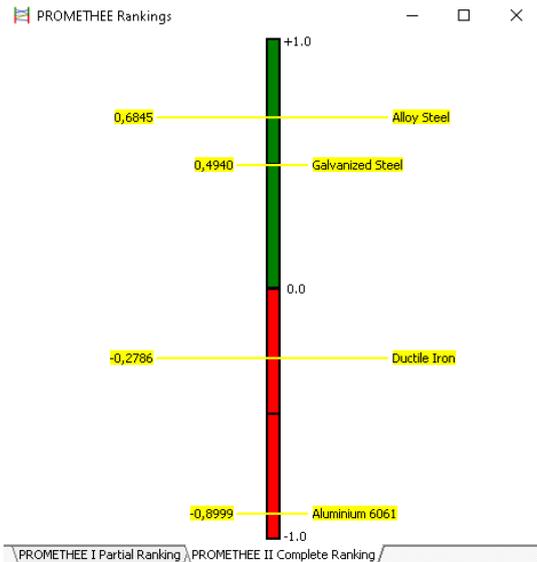
Threshold	10%	20%
Kriteria	Indifference (q)	Preference (p)
elastic modulus	14,1	28,2
poisson ratio	0,005	0,01
shear modulus	5,4	10,8
mass density	0,51	1,02
tensile strength	54	108
yield strength	22,5	45

Dari hasil data-data yang telah dilakukan pengukurannya maka selanjutnya adalah memasukkan data tersebut kedalam software Visual Promethee seperti pada gambar berikut.

Unit	Elastic Modulus	Poisson Ratio	Shear Modulus	Mass Density	Tensile Strength	Yield Strength
Unit	gPa	Poisson Ratio	gPa	g/cm ³	MPa	MPa
Cluster/Group						
Preferences						
Min/Max	max	min	max	min	max	max
Weight	0,38	0,09	0,18	0,04	0,23	0,08
Preference Fm.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	14,1	0,005	5,4	0,51	54,0	22,5
- P: Preference	28,2	0,010	10,8	1,02	108,0	45,0
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics						
Minimum	69,0	0,280	26,0	2,70	310,0	275,0
Maximum	210,0	0,330	80,0	7,80	850,0	500,0
Average	162,3	0,302	62,8	6,33	552,5	381,3
Standard Dev.	55,8	0,019	21,5	2,11	200,0	95,8
Evaluations						
<input checked="" type="checkbox"/> Alloy Steel	210,0	0,290	80,0	7,80	850,0	500,0
<input checked="" type="checkbox"/> Galvanized Steel	200,0	0,280	75,0	7,70	600,0	450,0
<input checked="" type="checkbox"/> Ductile Iron	170,0	0,310	70,0	7,10	450,0	300,0
<input checked="" type="checkbox"/> Aluminium 6061	69,0	0,330	26,0	2,70	310,0	275,0

Gambar III. 1 Input data pada Visual Promethee

Pada tampilan visual promethee tersebut dapat dilihat terdapat kolom Statistics yang memberikan informasi kepada pengguna mengenai nilai minimum dan maksimum dari setiap nilai kriteria terhadap alternatifnya, nilai rata-rata dari setiap nilai kriteria dan nilai standar deviasi yang didapatkan. Setelah dimasukkan data tersebut maka selanjutnya adalah memproses data tersebut dengan software Visual Promethee pada tab Promethee dengan hasil pada gambar berikut.

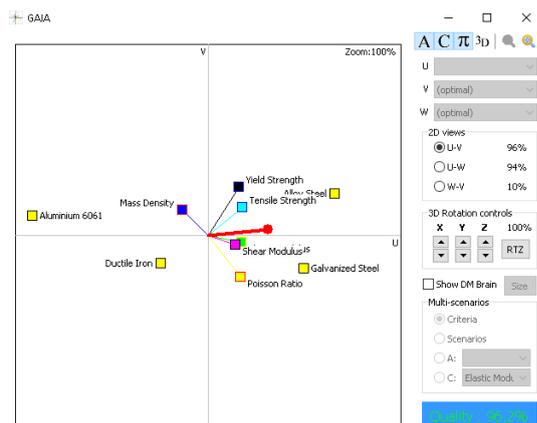


Gambar III. 2 Hasil Pengukuran Promethee II

Gambar di atas menunjukkan ranking lengkap dari alternatif material berdasarkan nilai net outranking flow yang diperoleh dari metode Promethee II. Pada diagram ini, sumbu vertikal menunjukkan skala preferensi dari -1,0 hingga +1,0, di mana setiap alternatif diberi nilai yang menunjukkan posisi relatifnya dalam rangkaian perbandingan. Alloy Steel didapatkan nilai hasil pengukuran sebesar 0,6845 yang dimana nilai tersebut merupakan nilai tertinggi dari hasil pengukuran. Dengan nilai tersebut menandakan bahwa material Alloy Steel memiliki performa yang paling optimal di antara alternatif lainnya. Nilai positif yang tinggi menunjukkan bahwa material ini memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan dengan alternatif lainnya pada sebagian besar kriteria yang dipertimbangkan, seperti kekuatan tarik, Yield Strength, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi.

3.1.4. GAIA

Dalam diagram Gaia akan ditampilkan bagaimana hasil dari Promethee II dalam hubungan antara alternatif yang tersedia dengan kriteria yang diberikan. Berikut merupakan hasil dari diagram Gaia yang dihasilkan dari software Visual Promethee.



Gambar III. 3 Diagram Gaia

Dari hasil diagram Gaia ini, dapat disimpulkan bahwa:

- Alloy Steel adalah material yang paling unggul dalam kriteria kekuatan tarik dan kekuatan luluh, sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan material dengan daya tahan tinggi terhadap beban tarik.
- Galvanized Steel menunjukkan keunggulan pada modulus geser, membuatnya cocok untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap beban geser, namun dengan performa yang tidak sekuat Alloy Steel.
- Ductile Iron tidak menunjukkan keunggulan yang signifikan pada kriteria yang dipertimbangkan, menjadikannya kurang diutamakan dalam aplikasi yang menuntut kekuatan mekanis.
- Aluminium 6061 unggul dalam kriteria densitas massa, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi yang memprioritaskan bobot ringan, meskipun memiliki kelemahan dalam aspek kekuatan.

3.1.5. Cost Effectiveness Analysis (CEA)

Menurut Drummond et al. [10], CEA adalah suatu teknik untuk membandingkan biaya dan hasil dari berbagai intervensi, di mana hasilnya diukur dalam satuan yang relevan seperti tahun kehidupan yang disesuaikan dengan kualitas hidup (QALY) atau dalam konteks teknik, dalam hal parameter performa produk seperti ketahanan, berat, atau kekuatan. CEA berfokus pada membandingkan rasio antara biaya dan hasil yang diperoleh dari setiap pilihan yang dianalisis, bukan hanya pada biaya absolut atau manfaat mutlak yang didapat. Terdapat dua langkah yang perlu dilakukan dalam melakukan CEA yaitu Annualized Investment Cost (AIC) dan Cost Effectiveness Ratio (CER) sebagai hasil akhir dari CEA. Berikut merupakan data mengenai harga per kilogram dari setiap alternatif pada tabel berikut.

Tabel III. 4 Biaya per KG tiap Alternatif

Jenis Material	Kriteria Material						Harga/KG
	Elastic modulus	Poisson ratio	Shear modulus	Mass density	Tensile strength	Yield strength	
Alloy Steel	210 Gpa	0,29	80 Gpa	7,8 g/cm ³	850 MPa	500 MPa	Rp.30.000
Galvanized Steel	200 GPa	0,28	75 Gpa	7,7 g/cm ³	600 MPa	450 MPa	Rp.28.500
Ductile Iron	170 Gpa	0,31	70 Gpa	7,1 g/cm ³	450 MPa	300 MPa	Rp.23.600
Aluminium 6061	69 Gpa	0,33	26 Gpa	2,7 g/cm ³	310 MPa	275 MPa	Rp.77.000

Annualized Investment Cost (AIC) adalah metode untuk menghitung biaya tahunan rata-rata dari suatu investasi atau material dengan memperhitungkan nilai investasi awal dan umur ekonomisnya. AIC ini mencakup nilai depresiasi atau penurunan nilai dari suatu material selama masa penggunaannya.

Berikut merupakan perhitungan yang dilakukan untuk AIC :

$$AIC = \text{Harga Awal Material} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

dimana:

- Harga Awal Material adalah biaya pembelian awal dari material yang akan dihitung,
- i adalah tingkat suku bunga atau *discount rate* per tahun,
- n adalah umur ekonomis dari material dalam tahun.

Maka berikut merupakan hasil dari pengukuran AIC pada tabel berikut.

Tabel III. 5 Hasil pengukuran AIC

Jenis Material	Harga/KG	AIC/KG
Alloy Steel	Rp.30.000	7914
Galvanized Steel	Rp.28.500	7518,3
Ductile Iron	Rp.23.600	6225,68
Aluminium 6061	Rp.77.000	20312,6

Setelah didapatkan nilai AIC dari masing-masing alternatif maka Langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan Cost Effectiveness Ratio (CER). Cost-Effectiveness Ratio (CER) adalah suatu indikator yang menggambarkan rasio antara biaya yang dikeluarkan untuk suatu alternatif dengan efektivitas yang dihasilkan dari alternatif tersebut. Dalam konteks pemilihan material, CER digunakan untuk menentukan material mana yang lebih ekonomis berdasarkan efektivitasnya terhadap kriteria teknis tertentu. CER membantu dalam menemukan keseimbangan antara kualitas material dengan harga yang harus dibayarkan, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang

optimal dan berorientasi biaya. Berikut merupakan hasil dari CER pada tabel berikut.

Tabel III. 6 Hasil Pengukuran CER

Jenis Material	AIC/ KG	Kriteria Material											
		Elastic modulus (GPa)	CER	Poisson ratio	CER	Shear modulus (GPa)	CER	Mass density (g/cm ³)	CER	Tensile strength (MPa)	CER	Yield strength (MPa)	CER
Alloy Steel	7914	210	37.7	0.3	27289.7	80.0	98.9	7.8	1014.6	850.0	9.3	500.0	15.8
Galvanized Steel	7518	200	37.6	0.3	26851.1	75.0	100.2	7.7	976.4	600.0	12.5	450.0	16.7
Ductile Iron	6226	170	36.6	0.3	20082.8	70.0	88.9	7.1	876.9	450.0	13.8	300.0	20.8
Aluminium 6061	20313	69	294.4	0.3	61553.3	26.0	781.3	2.7	7523.2	310.0	65.5	275.0	73.9

Berdasarkan analisis nilai CER untuk berbagai kriteria maka :

1. Alloy Steel memiliki performa paling Cost-Effective, khususnya untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan mekanik tinggi dengan CER yang rendah pada hampir semua kriteria.
2. Galvanized Steel juga cukup efektif, terutama pada modulus geser dan kekuatan tarik, dengan nilai CER yang mendekati Alloy Steel.
3. Ductile Iron adalah pilihan yang lebih ekonomis dibandingkan kedua material di atas, tetapi efektivitasnya hanya baik untuk kriteria tertentu seperti Poisson Ratio.
4. Aluminium 6061 adalah material yang paling mahal dengan nilai CER yang tinggi di semua kriteria, namun memiliki keunggulan dalam bobot yang lebih ringan, cocok untuk aplikasi di mana bobot menjadi prioritas utama.

4. ANALISIS HASIL PENGUKURAN

Setelah didapatkan data dan dilakukan pengukuran yang dilakukan maka berikut merupakan hasil dari pengukuran yang telah dilakukan.

4.1. Analisis *Promethee II* dan *GAIA*

Dalam pengukuran yang dilakukan maka didapatkan analisis dari pengukuran *Promethee II* dengan menggunakan software *Visual Promethee* yaitu :

1. Alloy Steel didapatkan nilai hasil pengukuran sebesar 0,6845 yang dimana nilai tersebut merupakan nilai tertinggi dari hasil pengukuran. Dengan nilai tersebut menandakan bahwa material Alloy Steel memiliki performa yang paling optimal di antara alternatif lainnya. Nilai positif yang tinggi menunjukkan bahwa material ini memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan dengan alternatif lainnya pada sebagian besar kriteria yang dipertimbangkan, seperti kekuatan tarik, Yield Strength, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi.
2. Galvanized Steel didapatkan nilai hasil pengukuran sebesar 0,4940 yang dimana nilai tersebut merupakan nilai tertinggi kedua setelah Alloy Steel. Dengan nilai

tersebut menandakan bahwa material Galvanized Steel lebih diutamakan dibandingkan dua alternatif lainnya, yaitu Ductile Iron dan Aluminium 6061.

3. *Ductile Iron* didapatkan nilai hasil pengukuran sebesar -0,2786 yang dimana nilai tersebut memiliki net *flow negative* sehingga kurang diutamakan dibandingkan dengan material *Alloy Steel* dan *Galvanized Steel*. Dengan nilai tersebut menandakan bahwa material *Ductile Iron* kurang diutamakan dibandingkan *Alloy Steel* dan *Galvanized Steel*. Hal ini mungkin disebabkan oleh kekuatan mekanis yang lebih rendah dan berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan kedua material teratas.
4. Aluminium 6061 didapatkan nilai hasil pengukuran sebesar -0,8999 yang dimana nilai tersebut memiliki net *flow negative* dan menjadi nilai net *flow* terendah dibandingkan dengan material lainnya. Ini menunjukkan bahwa material ini merupakan alternatif yang paling tidak diutamakan dalam pemilihan material optimal berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.

Kemudian dengan demikian barikut merupakan analisis dari hasil diagram Gaia dari software *Visual Promethee* yaitu :

1. *Alloy Steel*
 - o Posisi: Terletak dekat dengan vektor kriteria "*Tensile Strength*" dan "*Yield Strength*".
 - o Interpretasi: *Alloy Steel* memiliki posisi yang paling dekat dengan arah preferensi kriteria kekuatan tarik dan kekuatan luluh. Hal ini menunjukkan bahwa material ini unggul pada kedua kriteria tersebut dibandingkan material lainnya. Posisi yang dekat dengan kriteria kekuatan ini mengindikasikan bahwa *Alloy Steel* akan lebih cocok dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan mekanik yang tinggi.
2. *Galvanized Steel*
 - o Posisi: Berdekatan dengan vektor kriteria "*Shear Modulus*" dan sedikit berdekatan dengan "*Poisson Ratio*".
 - o Interpretasi: Posisi *Galvanized Steel* yang dekat dengan kriteria modulus geser menunjukkan bahwa material ini memiliki performa yang lebih baik dalam hal ketahanan terhadap gaya geser. Posisi ini juga menunjukkan bahwa meskipun tidak sekuat *Alloy Steel* dalam kekuatan tarik, material ini masih memiliki performa yang baik dalam hal modulus geser, yang dapat menjadi keuntungan dalam aplikasi yang menuntut ketahanan terhadap beban geser.
3. *Ductile Iron*

- Posisi: Terletak di kuadran kiri bawah, terpisah dari vektor kriteria utama.
 - Interpretasi: *Ductile Iron* menunjukkan jarak yang lebih jauh dari vektor kriteria utama, yang menunjukkan bahwa material ini tidak memiliki keunggulan yang menonjol pada kriteria yang diukur. Jarak yang jauh dari setiap kriteria utama menunjukkan bahwa material ini tidak diutamakan dalam kriteria kekuatan tarik, kekuatan luluh, atau modulus geser. Material ini mungkin hanya dipilih jika faktor biaya menjadi satu-satunya pertimbangan utama karena performanya yang relatif lebih rendah.
4. Aluminium 6061
- Posisi: Terletak jauh ke arah kiri, dekat dengan vektor kriteria "*Mass Density*".
 - Interpretasi: Aluminium 6061 memiliki posisi yang paling dekat dengan kriteria densitas massa, yang menunjukkan bahwa keunggulan utamanya adalah pada bobot yang lebih ringan. Ini menjadikan Aluminium 6061 sebagai alternatif yang lebih disukai untuk aplikasi yang memerlukan material ringan. Namun, jaraknya yang jauh dari vektor kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan modulus geser menunjukkan bahwa Aluminium 6061 memiliki kekurangan pada aspek kekuatan, sehingga kurang cocok untuk aplikasi yang menuntut daya tahan mekanis tinggi.

4.2. Analisis Cost Effectiveness Analysis (CEA)

Berikut adalah analisis dan pembahasan berdasarkan tabel hasil perhitungan *Cost-Effectiveness Analysis* (CEA) untuk beberapa material, yaitu *Alloy Steel*, *Galvanized Steel*, *Ductile Iron*, dan Aluminium 6061, dengan mempertimbangkan beberapa kriteria seperti *Elastic Modulus*, *Poisson Ratio*, *Shear Modulus*, *Mass Density*, *Tensile Strength*, dan *Yield Strength*.

Analisis dan Pembahasan tersebut yaitu :

1. *Alloy Steel*

- AIC/Kg: *Alloy Steel* memiliki harga tertinggi per kilogram di antara semua material, yaitu Rp7.914.
- *Elastic Modulus* CER: Nilai *Cost-Effectiveness Ratio* (CER) untuk kriteria *Elastic Modulus* adalah 27.829,3. Ini menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam mendukung modulus elastisitas tinggi.
- *Poisson Ratio* CER: Nilai CER pada *Poisson Ratio* adalah 27,3, yang relatif rendah, menunjukkan bahwa biaya yang

dikeluarkan per satuan *Poisson Ratio* cukup efisien.

- *Shear Modulus* CER: Nilai CER untuk *Shear Modulus* adalah 98,9, yang mengindikasikan efektivitas biaya yang baik dalam mendukung kemampuan geser material.
 - *Mass Density* CER: CER untuk densitas massa adalah 1.014,6, menunjukkan bahwa material ini relatif efisien untuk kriteria berat massa dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan tinggi dengan bobot yang moderat.
 - *Tensile Strength* CER: Dengan nilai CER sebesar 13,2, *Alloy Steel* sangat efektif dalam memberikan kekuatan tarik tinggi.
 - *Yield Strength* CER: *Yield Strength* memiliki CER sebesar 15,8, menunjukkan efisiensi biaya yang baik dalam memberikan kekuatan luluh yang signifikan.
 - *Alloy Steel* menunjukkan efektivitas biaya terbaik pada hampir semua kriteria utama, terutama pada kriteria kekuatan mekanik seperti *Elastic Modulus*, *Tensile Strength*, dan *Yield Strength*. Nilai CER yang rendah menunjukkan bahwa biaya per satuan performa *Alloy Steel* sangat efisien. Ini membuat *Alloy Steel* pilihan terbaik untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan mekanis tinggi.
- ##### 2. *Galvanized Steel*
- AIC/Kg: Harga per kilogram material ini adalah Rp7.518,3, sedikit lebih rendah dari *Alloy Steel*.
 - *Elastic Modulus* CER: CER sebesar 26.851,3 menunjukkan bahwa *Galvanized Steel* juga efektif dalam modulus elastisitas, meskipun sedikit kurang dari *Alloy Steel*.
 - *Poisson Ratio* CER: CER sebesar 25 menunjukkan bahwa material ini sedikit lebih efisien daripada *Alloy Steel* untuk *Poisson Ratio*.
 - *Shear Modulus* CER: Dengan nilai CER 100,2, efektivitas material ini hampir setara dengan *Alloy Steel* pada modulus geser.
 - *Mass Density* CER: CER untuk densitas massa sebesar 976,9 menunjukkan efektivitas yang cukup baik.
 - *Tensile Strength* CER: Dengan CER sebesar 15,3, material ini efektif dalam menyediakan kekuatan tarik.
 - *Yield Strength* CER: Nilai CER sebesar 16,7 menunjukkan bahwa material ini juga cukup efisien untuk kekuatan luluh.
 - *Galvanized Steel* berada pada posisi kedua dalam efektivitas biaya. Nilai CER untuk *Elastic Modulus* dan *Poisson Ratio* mendekati *Alloy Steel*, menunjukkan bahwa

material ini juga efisien dalam hal kekuatan. *Galvanized Steel* merupakan alternatif yang baik jika modulus geser dan kekuatan tarik adalah prioritas utama.

3. Ductile Iron

- AIC/Kg: *Ductile Iron* memiliki harga yang lebih rendah, yaitu Rp6.258,6 per kilogram.
- *Elastic Modulus* CER: Nilai CER sebesar 36.816,9 menunjukkan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan *Alloy Steel* dan *Galvanized Steel*.
- *Poisson Ratio* CER: Dengan nilai CER sebesar 20,2, material ini lebih efisien dari segi *Poisson Ratio*.
- *Shear Modulus* CER: CER sebesar 89,5 menunjukkan efisiensi pada modulus geser, meskipun kurang dibandingkan *Alloy Steel* dan *Galvanized Steel*.
- *Mass Density* CER: Nilai CER sebesar 876,9 mengindikasikan bahwa material ini cukup efektif untuk densitas massa.
- *Tensile Strength* CER: Dengan nilai CER 13,9, efektivitas pada kekuatan tarik cukup baik.
- *Yield Strength* CER: *Yield Strength* memiliki nilai CER 20,9, yang menunjukkan efisiensi biaya sedang dalam hal kekuatan luluh.
- *Ductile Iron* berada pada posisi ketiga dalam efektivitas biaya. Dengan harga per kilogram yang lebih rendah dibandingkan *Alloy Steel* dan *Galvanized Steel*, *Ductile Iron* lebih *Cost-Effective* untuk kriteria tertentu seperti *Poisson Ratio* dan *Shear Modulus*, tetapi kurang efektif pada kriteria *Elastic Modulus* dan *Yield Strength*. Material ini cocok untuk aplikasi dengan kebutuhan kekuatan sedang dan biaya lebih rendah.

4. Aluminium 6061

- AIC/Kg: Aluminium 6061 memiliki harga yang jauh lebih tinggi, yaitu Rp20.526 per kilogram.
- *Elastic Modulus* CER: CER sebesar 69.894 menunjukkan efektivitas yang lebih rendah dibandingkan material lainnya.
- *Poisson Ratio* CER: Dengan CER sebesar 62,2, material ini kurang efisien dari sisi *Poisson Ratio*.
- *Shear Modulus* CER: CER sebesar 789,5, menunjukkan efisiensi yang rendah pada modulus geser.
- *Mass Density* CER: Nilai CER sebesar 7.608,2 menunjukkan bahwa Aluminium 6061 lebih efektif dalam hal bobot.

- *Tensile Strength* CER: Dengan nilai CER sebesar 73, material ini memiliki efisiensi yang rendah untuk kekuatan tarik.
- *Yield Strength* CER: *Yield Strength* dengan nilai CER sebesar 73,9 menunjukkan efektivitas biaya yang rendah pada kekuatan luluh.
- Aluminium 6061 memiliki efektivitas biaya yang paling rendah di antara semua material yang dianalisis. Meskipun material ini unggul dalam hal bobot (*Mass Density*), nilai CER yang tinggi pada kriteria utama lainnya menunjukkan bahwa Aluminium 6061 memiliki biaya per unit performa yang relatif tinggi. Material ini lebih cocok untuk aplikasi yang mengutamakan bobot ringan dibandingkan kekuatan mekanik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya maka dibuat kesimpulan berdasarkan dari hasil Promethee II pada *software* visual promethee, diagram Gaia pada *software* visual promethee, dan hasil pengukuran perhitungan CEA sebagai berikut.

1. Kesimpulan Berdasarkan Promethee II dan diagram Gaia

Berdasarkan visual promethee, Alloy Steel menempati posisi tertinggi dengan nilai net flow sebesar 0,6845, diikuti oleh Galvanized Steel dengan nilai 0,4940. Sementara itu, Ductile Iron dan Aluminium 6061 masing-masing berada pada posisi lebih rendah dengan nilai net flow negatif, yaitu -0,2786 dan -0,8999. visual promethee memberikan gambaran yang jelas bahwa Alloy Steel dan Galvanized Steel adalah pilihan yang lebih unggul dibandingkan Ductile Iron dan Aluminium 6061. Alloy Steel dinilai sebagai material terbaik dalam keseluruhan aspek yang dipertimbangkan dalam analisis ini.

Dari perspektif Promethee II, Alloy Steel merupakan material yang paling direkomendasikan untuk dipilih, karena material ini memiliki nilai net flow tertinggi yang mencerminkan bahwa Alloy Steel lebih baik dalam memenuhi kriteria-kriteria yang telah ditetapkan dibandingkan alternatif lainnya. Galvanized Steel adalah alternatif kedua yang cukup baik, sementara Ductile Iron dan Aluminium 6061 menunjukkan kinerja yang kurang optimal.

Diagram Gaia memberikan pandangan mengenai orientasi kriteria dan kedekatan setiap material terhadap preferensi kriteria yang telah ditentukan. Dari diagram Gaia, terlihat bahwa Alloy Steel dan Galvanized

Steel memiliki orientasi yang mendekati arah kriteria utama seperti Tensile Strength dan Yield Strength, yang berarti kedua material ini lebih kuat dalam hal kekuatan mekanik. Mass Density berada pada sisi yang berbeda dan lebih mendekati Aluminium 6061, yang menunjukkan bahwa Aluminium 6061 unggul dalam aspek bobot yang lebih ringan.

Dari perspektif diagram Gaia, Alloy Steel masih menjadi alternatif yang paling kuat secara keseluruhan, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan modulus elastisitas tinggi, kekuatan tarik, dan Yield Strength. Namun, Aluminium 6061 dapat menjadi pilihan jika bobot menjadi kriteria yang lebih diprioritaskan, meskipun kompromi perlu dilakukan pada kekuatan mekanis. Galvanized Steel juga memiliki karakteristik yang kuat untuk kebutuhan kekuatan sedang hingga tinggi, namun sedikit lebih rendah daripada Alloy Steel.

2. Kesimpulan Berdasarkan Tabel Cost Effectiveness Analysis (CEA)

Analisis berdasarkan tabel Cost Effectiveness Analysis (CEA) menunjukkan perbandingan efektivitas biaya dari setiap material dalam mencapai kinerja per satuan biaya untuk setiap kriteria. Alloy Steel memiliki CER terendah pada sebagian besar kriteria, seperti Elastic Modulus (27.829,3), Tensile Strength (13,2), dan Yield Strength (15,8), yang menunjukkan bahwa material ini memberikan performa yang optimal dengan biaya per kilogram yang lebih rendah. Galvanized Steel berada di urutan kedua dengan nilai CER yang juga cukup kompetitif, terutama pada Tensile Strength dan Shear Modulus. Di sisi lain, Aluminium 6061 memiliki nilai CER yang cukup tinggi, menunjukkan bahwa biaya yang diperlukan untuk mencapai performa tertentu lebih besar dibandingkan dengan material lainnya.

Dari perspektif CER, Alloy Steel adalah material yang paling Cost-Effective, terutama dalam aplikasi di mana performa mekanik merupakan prioritas utama. Galvanized Steel menjadi alternatif kedua yang cukup efektif dalam hal biaya, terutama bila modulus geser dan kekuatan tarik adalah pertimbangan utama. Ductile Iron memiliki efektivitas biaya yang lebih baik dibandingkan Aluminium 6061, namun kalah efektif dibandingkan Alloy Steel dan Galvanized Steel. Aluminium 6061, meskipun unggul dalam aspek bobot yang ringan, memiliki nilai CER yang

tinggi, menjadikannya kurang efektif secara biaya.

Berdasarkan hasil dari Promethee II, diagram Gaia, dan CEA, berikut adalah urutan alternatif dari material yang paling efektif hingga kurang efektif:

1. Alloy Steel: Berdasarkan ketiga pendekatan, Alloy Steel merupakan material yang paling unggul. Material ini memiliki nilai net flow tertinggi dalam Promethee II, orientasi yang sesuai dengan kriteria kekuatan mekanik dalam diagram Gaia, dan nilai CER yang paling rendah dalam banyak kriteria utama. Oleh karena itu, Alloy Steel direkomendasikan sebagai material yang paling Cost-Effective dan sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan tinggi.
2. Galvanized Steel: Dalam Promethee II dan diagram Gaia, Galvanized Steel menunjukkan performa yang baik dengan posisi yang cukup dekat dengan Alloy Steel. Meskipun tidak seefektif Alloy Steel pada CER, material ini masih merupakan pilihan yang baik dengan biaya yang lebih rendah. Galvanized Steel dapat dipilih untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan sedang hingga tinggi dengan biaya yang lebih terjangkau.
3. Ductile Iron: Material ini menunjukkan efektivitas biaya yang lebih rendah dibandingkan Alloy Steel dan Galvanized Steel, namun masih lebih baik dibandingkan Aluminium 6061. Berdasarkan CER, Ductile Iron memiliki nilai yang lebih tinggi pada beberapa kriteria, tetapi dapat menjadi pilihan bila aplikasi tidak memerlukan performa mekanik yang sangat tinggi.
4. Aluminium 6061: Aluminium 6061 memiliki keunggulan pada aspek bobot, yang terlihat dalam diagram Gaia, namun biaya yang diperlukan untuk mencapai performa mekanik yang sebanding lebih tinggi, seperti terlihat pada nilai CER yang tinggi. Material ini cocok untuk aplikasi yang sangat mementingkan bobot ringan, tetapi kompromi harus dilakukan pada kekuatan mekanik dan efektivitas biaya.

Berdasarkan dari hasil kesimpulan diatas maka dapat disimpulkan bahwa Alloy Steel menjadi alternatif material paling optimal dari segi pemenuhan kriteria dan efektivitas biaya. Hal tersebut didapatkan dengan poin dimana dengan kesimpulan dari hasil pengukuran Promethee II didapatkan skor tertinggi yaitu 0,6845 dan memiliki efektivitas biaya dengan metode CEA dimana didominasi oleh Alloy Steel dimana skor CER terendah pada sebagian besar kriteria, seperti Elastic Modulus (27.829,3), Tensile Strength (13,2), dan Yield Strength (15,8),

yang merepresentasikan bahwa material Alloy Steel memberikan performa yang optimal dengan biaya per kilogram yang lebih rendah dibandingkan dengan alternatif material lainnya.

Daftar Pustaka

- [1] Figueira, J., Greco, S., & Ehr Gott, M. (2018). Comprehensive Overview of MCDM.
- [2] Silva, E., & Mota, C. (2022). Application of PROMETHEE in Lean Manufacturing..
- [3] Speer, J. (2019). The Evolution of High-Strength Low-Alloy Steels. Metallurgical and Materials Transactions A, 50, 1613-1624.
- [4] Wilson, R. K., et al. (2022). Impact Toughness and Wear Resistance in Chromium-Manganese Alloy Steels. Materials Science and Engineering A, 795, 139875.
- [5] Fernandez, M. A., et al. (2020). Comparative Study of Hot-Dip and Electro-Galvanized Steel: Microstructure and Corrosion Resistance. Surface and Coatings Technology, 385, 125392.
- [6] Williams, R. A., et al. (2023). Rapid Cooling Effects on Wear Resistance and Hardness of Ductile Iron. Materials Science and Engineering A, 824, 141721.
- [7] Callister, W. D., Jr., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). Wiley.
- [8] Ashby, M. F., & Jones, D. R. H. (2018). Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- [9] Vincke, P. (2019). Multicriteria Decision Aid. Wiley.
- [10] Drummond, et al (2016) Methods for the Economic Evaluation of Health Care Programmes. Oxford University Pres

