

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Sub bab ini berisi tentang penelitian-penelitian yang dijadikan referensi untuk mencari metode pemilihan material yang sesuai dengan keadaan UPT. Ragam Metal saat ini, sehingga dapat dijadikan alternatif metode penulis dalam pemilihan material. Penelitian-penelitian tersebut akan dibahas mulai dari masalah yang diteliti oleh peneliti, metode yang digunakan, sampai hasil yang dicapai dari penelitian tersebut. Sub bab ini juga menjelaskan penelitian sekarang yang akan dilakukan oleh penulis, mulai dari masalah aktual yang diteliti sampai hasil yang diharapkan sebagai akibat dari penelitian ini.

##### 2.1.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian pertama yang akan ditinjau adalah penelitian yang dilakukan oleh Erwin et al (2016) yaitu penelitian tentang pemilihan material ring pada *illizarov ring external fixation*. Penelitian ini memperkenalkan produk inovatif dalam bidang kedokteran yaitu *hybrid ring external fixation*. Sasaran produk ini adalah pasien yang mengalami *fracture* patah tulang pada tulang kaki. Fokus dari penelitian ini adalah pada material/bahan baku dari produk tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah merekomendasikan material yang cocok dalam pengaplikasian produk *hybrid ring external fixation*. Karakteristik material yang diinginkan adalah material yang kuat, ringan, tahan terhadap korosi, serta memiliki harga yang relatif murah. Ada dua metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *digital logic* dan metode kualitatif Ashby. Konsep dari metode *digital logic* adalah aspek material yang dibandingkan adalah aspek kekuatan material tersebut, menggunakan teknik pembobotan sebagai acuan perbandingan antara material satu dengan material lainnya. Konsep metode kualitatif Ashby adalah dilakukan penentuan material *index* dengan cara *screening* material awal, menggunakan *Software Material Selection* dalam pencarian alternatif material yang mempunyai karakteristik seragam dengan material awal. Dalam penelitian ini, langkah awal untuk menentukan sifat dari material awal menggunakan metode kualitatif Ashby, sedangkan proses analisis digunakan metode *digital logic*. Hasil dari penelitian ini adalah terdapat lima material calon *ring external fixation*, yaitu material Beryllium (Be) dengan nilai FOM 33,94; material Stainless Steel 304 dengan nilai FOM 6,94; material logam

Aluminium (Al) dengan nilai FOM 4,37; material logam Titanium (Ti) dengan nilai FOM 1,04; dan material logam Brass (CuZn) dengan nilai FOM 0,812. Material yang dipilih adalah material yang mempunyai nilai FOM tertinggi karena lebih ekonomis, yaitu material Beryllium (Be).

Penelitian kedua yang dijadikan referensi yaitu penelitian Tiwari (2015), dalam penelitian ini, pemilihan material dilakukan dengan pendekatan *value engineering*, dari beberapa aplikasi yang dipakai, dibandingkan kembali dengan pendekatan tersebut, dicari yang paling ideal, sesuai dengan produk dan proses yang dilakukan. Aplikasi yang digunakan oleh penulis adalah AM ( *Additive Manufacturing* ) *technique*. AM adalah aplikasi induk yang terdiri dari aplikasi-aplikasi kecil lain. AM membagi 3 kategori untuk material yaitu : *liquid based*, *solid based*, *powder based*. Kelebihan dari aplikasi ini adalah biaya penggunaan rendah, dapat digunakan untuk berbagai jenis material dan dapat digunakan untuk berbagai jenis proses manufaktur, dapat dimanfaatkan dari berbagai bidang profesi, seperti kedokteran. Kelemahan dari aplikasi ini adalah informasi yang ada terbatas, karena aplikasi ini masih baru dan belum banyak digunakan.

Penelitian Yang et al (2015) bertujuan untuk membuat komponen otomotif dalam rangka remanufaktur dengan memperbaiki proses pemilihan material pada tahap perancangan awal. Teknik pemilihan material yang digunakan adalah teknik pengambilan keputusan multi-kriteria, yaitu *Fuzzy Technique of Order Preferences by Similarity to the Ideal Solution (Fuzzy TOPSIS)*. Teknik ini digunakan untuk mengevaluasi performansi dari kandidat material berdasarkan kriteria yang diajukan. Komponen otomotif yang dirancang adalah *engine block* dan *intake manifold*. Kriteria yang diajukan untuk kedua komponen adalah tahan terhadap korosi, tahan aus, tahan terhadap kelelahan , tahan terhadap efek kimiawi yang ditimbulkan dalam alat pembersih, mudah untuk dibersihkan, mudah dikenai proses dengan menggunakan mesin, fleksibel terhadap penambahan proses, fleksibel terhadap penambahan proses khusus, *reliability of the reconditioned part*, pengadaan bahan baku, penanganan terhadap limbah yang dihasilkan, mudah untuk di daur ulang, tingkat racun yang ada dalam material, biaya material, dan massa jenis. Perhitungan bobot pada penelitian ini menggunakan 2 input, yaitu metode Entropy dan metode Subyektif. Metode Subyektif menggunakan penilaian subyektif dari profesional dan pengalaman. Penilaian tersebut adalah VL (*Very Low*), L (*Low*), M (*Medium*), H (*High*), Very High (*Very High*). Bobot masing-masing penilaian 1, 3, 5, 7, 9. Proses analisis

pada penelitian ini menggunakan Teknik *Fuzzy* untuk pengambilan data performansi dari masing-masing kandidat material yang ada. Tingkatan Performansi yang digunakan adalah *Poor* (P), *Medium Poor* (MP), *Fair* (F), *Medium Good* (MG), *Good* (G), sedangkan Teknik TOPSIS digunakan untuk penentuan peringkat kandidat material. Nilai kedekatan (C) yang paling tinggi merupakan alternatif material yang ideal. Hasil dari penelitian ini adalah komponen *Engine Block* mempunyai empat kandidat material yang mempunyai peringkat teratas, yaitu Grey Cast Iron ASTMA 48 Class 40, Aluminum A356-t6, Magnesium AMC SCI T6, dan CGI ASTM A482 Grade 450. Masing-masing mempunyai nilai kedekatan 0.886, 0.375, 0.134, dan 0.923. Material yang ideal adalah CGI ASTM A482 Grade 450 untuk pembuatan *engine block*. Komponen *Intake Manifold* mempunyai tiga kandidat material yang mempunyai peringkat teratas, yaitu Grey Cast Iron ASTMA 48 Class 40, Aluminum Cast 319.0-F, dan Glass Fiber Reinforced Nylon 66. Masing-masing mempunyai nilai kedekatan 0.874, 0.750, dan 0.066. Material yang optimal adalah Grey Cast Iron ASTMA 48 Class 40 untuk pembuatan *Intake Manifold*.

Teknik untuk pemilihan material yang sesuai dengan produk tidak hanya digunakan untuk perancangan awal suatu produk saja, namun dapat digunakan untuk perbaikan/peningkatan kualitas produk yang sudah ada, seperti pada penelitian Hafid dan Harbintoro (2014) yang mengacu pada jenis material yang digunakan sebagai bahan dasar tank, serta komposisi dari material tersebut. Metode yang digunakan adalah metode *experimental*. Metode ini mengolah data menggunakan berbagai percobaan yang dilakukan langsung terhadap material. Penelitian ini dibuat untuk memperbaiki sifat material pada pembuatan *track link* awal yang disesuaikan dengan teknologi pengecoran di Indonesia. Tahapan pertama yang dilakukan adalah menganalisis material *track link tank* awal. Tahap selanjutnya adalah melakukan percobaan-percobaan untuk pengembangan material dalam pembuatan *prototype track link*. Material *track link* awal digolongkan sebagai *low alloy steel*. *Low Alloy Steel* adalah paduan baja cor yang mengandung unsur penambah hingga 8%, unsur tersebut termasuk karbon. Pengembangan material difokuskan kepada modifikasi komposisi kimia dan proses perlakuan panas. Modifikasi kimia dilakukan dengan menambah atau mengurangi kadar unsur tertentu, yaitu jumlah pemadu (dalam hal ini paduan Fe-Mn, Fe-Cr, Fe-Si, dan Fe-Mo) untuk melihat pengaruhnya pada sifat material. Modifikasi kimia tersebut dengan perlakuan panas *normalizing* dengan

pendinginan kipas. Tahap berikutnya adalah pembuatan *prototype*. Karakteristik material pada *prototype* dianalisis menggunakan beberapa jenis pengujian, yaitu uji tarik, analisis komposisi kimia dan struktur mikro, uji kekerasan, serta uji ketahanan aus. Tahap berikutnya dibandingkan dengan produk awal. Hasil dari penelitian ini adalah material tambahan untuk mengurangi penyusutan adalah *chill* dan pasir Zirkon dengan komposisi material C 0.25%, Si 0.31%, Mn 1.04%, P 0.01%, S 0.01%, Cr 0.90%, dan Mo 0.50%.

Penelitian selanjutnya yang ditinjau adalah penelitian dari Kurniasih (2013). Penelitian ini membahas perancangan *skateboard* dengan *Quality Function Deployment*. Perancangan sebuah produk tidak lepas dari pemilihan material, oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah menentukan keinginan konsumen terhadap perancangan *skateboard* dengan mempertimbangkan biaya material. Komponen yang krusial untuk material pembuatan adalah *bearing*, *wheels*, *truck*, dan *risers*, sehingga pemilihan material difokuskan pada komponen-komponen tersebut. Pemilihan material pada penelitian ini menggunakan pendekatan QFD, dimana karakteristik material ditentukan oleh konsumen. Karakteristik tersebut adalah material yang digunakan tahan lama, kuat, dan memiliki estetika. Karakteristik sesuai dengan permintaan konsumen tersebut didapat dari hasil QFD dan penyebaran kuisioner. Karakteristik tersebut dikumpulkan, kemudian dilakukan pencarian alternatif material dengan melakukan perbandingan antara harga material satu dengan material lainnya. Langkah berikutnya, alternatif-alternatif material yang terpilih digambarkan menggunakan Peta Morfologi. Penelitian ini menekankan pada produk yang berkualitas, sehingga material yang dipilih merupakan material yang mempunyai harga cukup mahal, namun dapat memenuhi permintaan/harapan konsumen. Hasil dari penelitian ini adalah bahan untuk *bearing*, keramik dengan harga Rp 1.063.500,00; bahan untuk *wheels*, *Polyurethane* (PU) dengan harga Rp 305.500,00; bahan *truck*, logam Aluminium (Al) dengan harga Rp 257.000,00; dan bahan untuk *risers* adalah karet dengan harga Rp 37.000,00.

Karena material sangat berpengaruh pada pengembangan produk, maka terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk pemilihan material, seperti pada penelitian Djassemi (2012), yang menggunakan teknologi untuk pemilihan material. Penelitian ini menggunakan *software Cambridge Engineering Selector* (CES). CES ini mempunyai 3,000 *database* material mulai dari logam, polimer, keramik, dan material komposit lainnya. Dalam penelitiannya, terdapat

dua prosedur untuk pemilihan material, yaitu Fase I adalah mencari dan memindai material yang ada di dalam *database* untuk mengidentifikasi material yang memenuhi syarat yang sesuai digunakan untuk produk. Pada fase II, kandidat material yang sesuai dimasukkan parameter-parameter terukur, seperti *recycled content* dan *end of life treatment*. Setelah itu, data yang ada dihitung menggunakan matriks dengan 2 faktor: energi dan CO<sub>2</sub>. Langkah-langkah tersebut dilakukan untuk masing-masing kandidat material yang terpilih, kemudian dianalisis dan dilakukan pemilihan material yang menimbulkan dampak lingkungan negatif yang minimum, setelah itu dilakukan kesimpulan. Dalam penelitian ini, produk yang dihasilkan adalah *engine block*. Kandidat material yang terpilih, yaitu Aluminium (Al), *Cast Iron*, dan Mg-SiC. Kelebihan dari aplikasi ini adalah memiliki referensi material yang banyak beserta spesifikasinya. Kelemahan dari aplikasi ini adalah aplikasi ini hanya fokus kepada satu jenis material saja, yaitu logam.

Pemilihan material dapat dilakukan dengan menggunakan riset pasar seperti pada penelitian Fiktarina (2017). Fiktarina (2017) melakukan penelitian menggunakan kuisisioner untuk mengetahui produk-produk baru yang diminati dan dapat diproduksi oleh UPT Ragam Metal. Hasil dari penelitian ini adalah terdapat 16 produk baru dengan material yang diusulkan oleh konsumen melalui kuisisioner yang disebar. Kelebihan dari penelitian ini adalah dapat secara langsung mengetahui kualitas produk yang diharapkan oleh konsumen termasuk kualitas material yang diinginkan. Kelemahan dari penelitian ini adalah material yang disarankan belum tentu sesuai dengan mesin yang ada dan fungsi/kegunaan produk yang diusulkan, serta material yang diusulkan belum spesifik.

### **2.1.2. Penelitian Sekarang**

Penelitian sekarang dilakukan di UPT Ragam Metal. UPT ini sedang melakukan revitalisasi. Penelitian ini fokus kepada pemilihan material untuk produk baru yang akan dirancang. Material yang diteliti adalah material jenis logam. Pendekatan yang digunakan adalah MADM (Multiple Attribute Decision Making) dengan menggunakan teknik TOPSIS (*Technique for Order Preferences by Similarity to the Ideal Solution*). Metode ini memberikan peringkat terhadap alternatif-alternatif material yang diberikan berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan. Kriteria tersebut sesuai dengan spesifikasi desain produk inovasi yang akan diproduksi. Hasil dari pendekatan ini adalah indeks kedekatan dengan

solusi optimal (C), dimana kandidat material yang mempunyai nilai indeks kedekatan yang tinggi merupakan alternatif material usulan yang ideal dengan dilakukan analisis perbandingan lebih lanjut. Desain produk inovasi yang dimaksud adalah 16 usulan produk-produk hasil riset Fiktarina (2017) yang menjadi objek penelitian ini. Hasil yang diharapkan adalah mendapatkan material yang berkualitas dan sesuai dengan spesifikasi produk yang diinginkan, namun memiliki harga yang rendah. Penelitian ini juga akan mengusulkan prosedur standar untuk pemilihan material, sehingga UPT Ragam Metal dapat memilih material yang berkualitas baik untuk perancangan produk lain secara mandiri.

## **2.2. Dasar Teori**

Sub bab ini berisi tentang teori-teori yang digunakan sebagai dasar pemikiran dari penelitian sekarang yang dilakukan. Teori-teori yang dijadikan dasar adalah teori tentang MCDM (*Multi Criteria Decision Making*) dan teori tentang TOPSIS (*Technique for Order Preferences by Similarity to the Ideal Solution*).

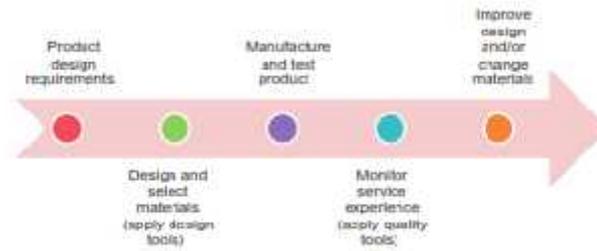
### **2.2.1. Pemilihan Bahan**

Pemilihan bahan merupakan fungsi penting dalam perancangan dan pengembangan produk. Hal tersebut dikarenakan bahan mempengaruhi fungsi produk, kepuasan pelanggan, sistem produksi, siklus hidup produk, *user* yang akan menggunakan produk, fungsi produk, serta biaya yang dihasilkan. Pemilihan bahan dapat dilakukan untuk memilih bahan alternatif untuk perbaikan desain produk yang ada, sehingga dapat mengurangi biaya, dapat juga untuk pemenuhan persyaratan hukum, mengatasi kegagalan, atau memenuhi permintaan pasar yang berbeda, serta dapat digunakan untuk pemilihan bahan desain produk baru (Jahan et al, 2013).

Terdapat lima tahapan dalam pengembangan produk dapat dilihat pada Gambar 2.1, yaitu

- a. Kebutuhan desain produk
- b. Pemilihan dan perancangan material
- c. Produksi dan uji produk
- d. Pengujian kualitas
- e. Pengembangan desain dan/atau perubahan material

Tahapan-tahapan tersebut dilakukan secara simultan dan saling terkait satu sama lain.



**Gambar 2.1. Tahapan Pengembangan Produk**

Sumber : Jahan et al, 2013

Menurut Jahan et al (2013), pemilihan bahan dibagi menjadi dua kategori, yaitu pemilihan berdasarkan sifat material dan pemilihan berdasarkan rancangan desain. Pemilihan berdasarkan rancangan desain adalah pemilihan yang menggabungkan struktur fisik komponen dengan sifat material. Dalam perancangan dan pemilihan material, keputusan dapat dibuat oleh satu orang perancang atau beberapa orang perancang. Data yang diambil dapat berupa data deterministik, stokastik, kontinu, atau diskret.

Faktor desain dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu: tujuan dan kendala. Tujuan adalah sasaran atau target yang ingin dicapai oleh seorang perancang produk. Kendala adalah keadaan-keadaan/faktor-faktor yang mendukung tujuan dapat tercapai. Tujuan dan kendala ini yang digunakan untuk menentukan kriteria/atribut material yang digunakan. Tujuan yang ingin dicapai dan kendala yang ada dapat berupa *linear* atau *non-linear*.

Tahapan-tahapan umum pemilihan material seperti pada kerangka Gambar 2.2.



**Gambar 2.2. Tahapan Umum Pemilihan Material**

Adaptasi dari sumber : Jahan et al, 2013

- a. Semua material dan ide proses pengerjaan dikumpulkan.
- b. Semua material tersebut dilakukan penyaringan. Penyaringan dilakukan sesuai dengan spesifikasi desain dari produk tersebut dan ide proses pengerjaan yang akan dilakukan.
- c. Pemberian peringkat berdasarkan biaya produksi yang dihasilkan menggunakan *tools* matriks performansi
- d. Menambahkan informasi pendukung sebagai data tambahan, dapat berasal dari studi kasus, spesifikasi alat-alat pendukung yang digunakan, sehingga alternatif material yang dihasilkan lebih terjamin.

Menurut Suroto et al (1983), aspek-aspek penting dalam pemilihan bahan adalah *physical properties*, *technology property*, *chemical properties*, pertimbangan segi ekonomis, dan kelestarian lingkungan.

a. *Physical Properties*

*Physical properties* menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk memenuhi fungsi dari produk yang akan dihasilkannya. Besaran *property* ini dapat dinyatakan dalam satuan tertentu. Meliputi kekuatan, kekerasan, regangan, massa jenis, titik lebur, dan kemampuan menghantar panas dan listrik.

b. *Technology Properties*

*Technology properties* menunjukkan karakter material terhadap proses pengerjaan yang dikenakan pada material tersebut. *Property* ini menyatakan kualitas material ketika dikenai oleh suatu proses pengerjaan. Pernyataan kualitatif biasa muncul ketika menggunakan *property* ini, misal material dapat dilas dengan baik.

c. *Chemical Properties*

*Chemical Properties* menyatakan perubahan susunan kimiawi material akibat keadaan sekitar atau sebaliknya. *Property* ini meliputi ketahanan terhadap korosi, kemudahan terbakar, ketahanan terhadap panas, serta kandungan racun.

d. Pertimbangan Ekonomis

Pemilihan material menggunakan prinsip “Semurah mungkin, asalkan benda jadi tetap memiliki kemampuan untuk memenuhi tuntutan fungsinya”.

e. Kelestarian Lingkungan

Material yang dipilih sebisa mungkin dapat diterapkan 3R (*reduce*, *reuse*, *recycle*) mulai dari bentuk awal material, sampai sisa dari proses pengerjaan (*scrap*).

Menurut Suroto et al (1983), pemilihan bahan yang akan digunakan harus disesuaikan dengan sifat-sifat dari bahan itu sendiri. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan logam. Sifat-sifat logam yang penting antara lain:

a. *Malleability*/Dapat ditempa

Logam dapat mudah dibentuk dengan suatu gaya, baik dalam keadaan dingin maupun panas tanpa terjadi retak.

b. *Ductility*/Dapat ditarik

Logam dapat dibentuk dengan tarikan tanpa menunjukkan gejala putus.

c. *Toughness*/Sifat ulet

Kemampuan suatu logam untuk dibengkokkan beberapa kali tanpa mengalami retak.

d. *Hardness*/Kekerasan

Ketahanan suatu logam terhadap penetrasi/penusukan logam lain.

e. *Strength*/Kekuatan

Kemampuan suatu logam untuk menahan gaya yang bekerja atau kemampuan logam menahan deformasi.

f. *Weldability*

Kemampuan logam untuk dapat dilas, baik las listrik maupun dengan las karbid.

g. *Corrosion Resistance*/Tahan korosi

Kemampuan suatu logam untuk menahan korosi akibat kelembapan udara, zat-zat kimia, dll.

h. *Machinability*

Kemampuan suatu logam untuk dikerjakan dengan mesin.

i. *Elasticity*

Kemampuan suatu logam untuk kembali ke bentuk semula tanpa mengalami deformasi permanen.

j. Kerapuhan

Sifat logam yang mudah retak dan pecah. Sifat ini berhubungan erat dengan *hardness* dan merupakan kebalikan dari *ductility*.

### 2.2.2. Multi Criteria Decision Making (MCDM)

MCDM adalah metode penentuan solusi terbaik sesuai dengan kriteria dan permasalahan umum yang terjadi. Menurut Jahan (Hwang et al, 1981), masalah

MCDM diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu: *Multiple Objective Decision Making* (MODM) dan *Multiple Attribute Decision Making* (MADM).

Metode MODM mempunyai nilai variabel keputusan yang ditentukan dalam domain yang kontinu dengan pilihan alternatif yang tidak terbatas. MODM biasanya digunakan dalam pemrograman. Tujuan optimal dicapai dengan mempertimbangkan berbagai interaksi yang dihasilkan dari kendala yang ada. Metode MADM digunakan untuk membuat pilihan keputusan terhadap alternatif yang tersedia ditandai dengan beberapa atribut. Variabel keputusan dalam metode ini, umumnya diskret dengan sejumlah alternatif yang terbatas. Masalah yang diselesaikan dengan metode ini dapat divisualisasikan ke dalam bentuk matriks. *Input* dari matriks tersebut adalah alternatif material yang memungkinkan, dilambangkan dengan  $A_i$ , dimana  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ . Alternatif material tersebut ditentukan oleh pembuat keputusan. *Input* lainnya adalah kriteria. Kriteria diartikan sebagai sifat dari material yang dibutuhkan, dilambangkan dengan  $c_j$ , dimana  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ . Adapula *input* yang dimasukkan ke dalam matriks adalah tingkat kepentingan relatif dari suatu kriteria, biasa disebut dengan bobot, yang dilambangkan dengan  $w_j$ , dimana  $j$  adalah nomor kriteria. *Input* yang terakhir adalah elemen  $x_{ij}$  dimana  $x$  adalah tingkat performansi material alternatif  $i$  terhadap kriteria  $j$ . Matriks tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1. Matriks Performansi**

	$C_1$	$C_2$	...	$C_j$
	$w_1$	$w_2$	...	$w_j$
$A_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1j}$
$A_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2j}$
$A_3$	$x_{31}$	$x_{32}$	...	$x_{3j}$
...	...	...	...	...
$A_i$	$x_{i1}$	$x_{i2}$	...	$x_{ij}$

Di antara banyak penerapan MCDM, penerapan untuk pemilihan material sangat penting. Hal itu disebabkan karena pemilihan material baru atau mengganti material yang sudah ada dengan material lain yang mempunyai karakteristik lebih baik biasanya dilakukan penerapan metode *trial and error* dan/atau menggunakan pengalaman sebelumnya. Metode yang telah dilakukan memungkinkan tidak menghasilkan solusi yang optimal, namun dengan menggunakan salah satu metode MCDM, akan membantu menghindari

penggunaan bahan yang tidak tepat dan metode ini dapat memastikan biaya tetap minimum. MCDM memberikan dasar untuk memilih, menyortir dan memberikan prioritas material serta membantu dalam penilaian secara keseluruhan.

### 2.2.3. Multi Attribute Decision Making (MADM)

MADM (*Multi Attributes Decision Making*) adalah metode untuk pemilihan bahan yang optimal dari beberapa alternatif material berdasarkan beberapa atribut. MADM dapat digunakan untuk memberi peringkat dan memilih material yang optimal. Variabel keputusan yang digunakan dapat berupa kuantitatif maupun kualitatif. Kriteria dalam metode MADM dikategorikan menjadi dua, yaitu *cost criteria* dan *benefit criteria*. *Cost criteria* biasanya dikatakan sebagai negatif kriteria, sedangkan *benefit criteria* biasanya dikatakan sebagai positif kriteria. Data yang digunakan dalam pemilihan material ada dua kategori, yaitu *Numerical Attributes* dan *Non-numerical Attributes*. *Numerical Attributes* terdiri dari data pengukuran, nilai rasio, data interval, dan *incomplete data*. Data yang termasuk *Non-numerical Attributes* adalah data ordinal dan data Boolean. Secara keseluruhan, metode MADM terdiri dari langkah untuk menghasilkan alternatif, menetapkan kriteria (atribut), mengevaluasi alternatif, penilaian bobot kriteria, dan penerapan sistem peringkat. Sebelum melakukan pembobotan kriteria, data awal dinormalisasikan menjadi data yang standar. Lambang data yang ternormalisasi adalah  $r_{ij}$ . Terdapat beberapa metode normalisasi, yaitu *vector normalization*, *linear normalization*, *linear normalization-sum method*, *linear max-min normalization method*, *nonlinear normalization*, *designer specifies the critical value*, *Z-transformation*, *non-monotonic normalization*, *comprehensive normalization*, dan *target-based normalization*. Dalam MADM, teknik normalisasi yang digunakan adalah Teknik *Target-based Normalization*. Hal tersebut disebabkan karena teknik normalisasi tersebut dapat digunakan untuk berbagai macam tipe kriteria. Rumus matematis teknik normalisasi tersebut adalah sebagai berikut:

$$r_{ij} = 1 - \frac{|x_{ij} - T_j|}{\text{Max} \{x_{ij}^{\text{max}}, T_j\} - \text{Min} \{x_{ij}^{\text{min}}, T_j\}} \quad (2.1)$$

dimana:

$r_{ij}$  = data yang ternormalisasi

$x_{ij}$  = tingkat performansi alternatif i terhadap kriteria j

$T_j$  = target performansi pada kriteria j sesuai dengan tujuan yang akan dicapai

$x_{ij}^{max}$  = nilai maksimum tingkat performansi alternatif i terhadap kriteria j

$x_{ij}^{min}$  = nilai minimum tingkat performansi alternatif I terhadap kriteria j

Menurut Jahan et al (2013), MADM (*Multi Attribute Decision Making*) mempunyai tujuh metode. Metode-metode tersebut memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dan kekurangan metode-metode *Multi Attribute Decision Making* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan Metode MADM**

No.	Metode	Kelebihan	Kekurangan
1.	AHP	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bobot kriteria diperoleh dari gabungan pendapat para ahli</li> <li>2. Merupakan prosedur pengambilan keputusan yang kuat dan fleksibel</li> <li>3. Dapat digunakan untuk kriteria yang dapat diukur dan tidak dapat diukur</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hasil yang diperoleh kurang akurat, karena berdasarkan hipotesa</li> <li>2. Alternatif keputusan yang dapat dibandingkan terbatas. Ketika jumlah alternatif keputusan mencapai ratusan hingga ribuan, hasil keputusan menjadi tidak layak/bias.</li> </ol>
2.	ANP	Merupakan pengembangan dari AHP yang memperhitungkan relasi dan umpan balik antar alternative	Hasil yang diperoleh berdasarkan hipotesa dan membutuhkan lebih banyak proses evaluasi
3.	SAW	Metode yang sederhana	Metode ini tidak sensitif terhadap nilai kriteria yang dibandingkan
4.	<i>Graph Theory dan Matrix Approach</i>	Metode ini dapat mempertimbangkan faktor kuantitatif dan kualitatif	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metode ini tidak mengevaluasi lebih lanjut konsistensi terhadap hipotesis tentang kepentingan relatif tiap atribut</li> <li>2. Metode ini sulit diterapkan bila jumlah atribut lebih dari 20</li> </ol>
5.	ELECTRE	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dapat digunakan ketika jumlah kriteria lebih besar dibandingkan alternatif</li> <li>2. Batasan prioritas dapat dipertimbangkan ketika pemodelan data tidak sempurna</li> <li>3. Dapat digunakan untuk mengevaluasi dengan skala ordinal tanpa harus mengkonversi skala aslinya.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dapat terjadi peningkatan perhitungan seiring dengan peningkatan alternatif</li> <li>2. Hanya menampilkan hasil pangkat saja, tidak memberikan nilai numerik yang lebih dapat dipahami untuk menjelaskan perbedaan tiap alternatif</li> </ol>

**Tabel 2.2. Lanjutan**

No.	Metode	Kelebihan	Kekurangan
6.	TOPSIS	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dapat digunakan untuk jumlah alternatif dan kriteria dalam skala besar</li> <li>2. Dapat digunakan untuk data kualitatif dan kuantitatif</li> <li>3. Metode yang mudah dan fleksibel</li> <li>4. <i>Output</i>-nya adalah peringkat prioritas dengan hasil numerik, sehingga dapat menunjukkan dengan jelas perbedaan antar alternatif dan mudah dipahami</li> </ol>	Dalam implementasi, <i>output</i> masih membutuhkan analisis lebih lanjut
7.	VIKOR	Mempunyai kelebihan yang sama dengan metode TOPSIS	Menghasilkan hasil maksimal, namun belum tentu optimal

#### 2.2.4. Prosedur Pembobotan Kriteria

Metode MCDM membutuhkan bobot kuantitatif untuk setiap atribut. Metode pembobotan dikategorikan menjadi tiga, yaitu: metode subyektif, metode obyektif, dan metode gabungan.

##### a. Metode Subyektif

Penentuan bobot dalam metode ini berdasarkan dari hasil evaluasi, serta pengalaman para ahli. Teknik pembobotan dalam metode subyektif digolongkan menjadi dua, yaitu prosedur pembobotan secara langsung dan perbandingan berpasangan.

##### i. Pembobotan Langsung

Pembobotan langsung memberikan hak sepenuhnya terhadap pembuat keputusan untuk mengalokasikan nilai secara langsung terhadap atribut yang ada sebagai gambaran nilai bobot dari atribut tersebut. Nilai bobot yang diberikan berdasarkan tingkat kepentingan atribut tersebut, biasanya berbentuk skala 10 titik (rentang tingkat kepentingan 1-10).

##### ii. Perbandingan Berpasangan (*Pair-Wise Comparison*)

Metode Perbandingan Berpasangan, membandingkan dua kriteria sekaligus, kemudian dilakukan penilaian. Hasil dari penilaian tersebut dinormalisasi, dan total hasil penilaian yang ternormalisasi tersebut adalah 1,0. Metode ini mempunyai kelebihan, yaitu memiliki hasil yang jelas, serta mempunyai ciri khas, yaitu digunakan untuk pengambilan keputusan atau evaluasi masalah kualitatif. Salah satu jenis metode perbandingan berpasangan adalah *eigenvector* dan *weighted least square*.

b. Metode Obyektif

Pembobotan dilakukan berdasarkan data masalah yang ada. Metode ini digunakan, apabila pembuat keputusan bukan seorang ahli atau bobot subyektif tidak dapat diperoleh. Metode Obyektif dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

i. Bobot Rata-rata (*Mean Weighting*)

Pembobotan dilakukan berdasarkan asumsi bahwa semua atribut mempunyai kepentingan yang sama. Pembobotan dapat dilakukan menggunakan rumus:

$$w_j = \frac{1}{n} \quad (2.2)$$

dimana:

$w_j$  = bobot atribut j

$n$  = jumlah atribut

ii. *Entropy*

Tingkat performansi kandidat material terhadap setiap atribut menentukan tingkat kepentingan atribut tersebut, apabila semua kandidat mempunyai tingkat performansi yang sama pada atribut yang sama, maka atribut tersebut semakin rendah tingkat kepentingannya. Rumus matematis pembobotan metode ini dapat dilihat pada persamaan 2.3 – 2.5 berikut:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2.3)$$

$$E_j = - \left( \sum_{i=1}^m p_{ij} \times \ln(p_{ij}) \right) \quad (2.4)$$

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)} \quad (2.5)$$

dimana:

$p_{ij}$  = indeks tingkat performansi alternatif material i terhadap atribut j

$E_j$  = faktor Entropy atribut j

$w_j$  = bobot atribut j

$x_{ij}$  = tingkat performansi alternatif material i terhadap atribut j

iii. Metode Standar Deviasi

Bobot kecil diberikan pada atribut-atribut yang mempunyai nilai indeks tingkat performansi alternatif material yang serupa. Indeks performansi merupakan hasil dari standar deviasi dari tingkat performansi yang

diberikan alternatif material  $i$  terhadap atribut  $j$  dan dilambangkan dengan  $x_{ij}$ . Rumus matematis pembobotan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m}}, j = 1, \dots, n \quad (2.6)$$

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j}, j = 1, \dots, n \quad (2.7)$$

dimana:

$j$  = indeks performansi

$w_j$  = bobot atribut  $j$

$x_{ij}$  = tingkat performansi material alternatif  $i$  terhadap atribut  $j$

$\bar{x}_j$  = rata-rata tingkat performansi pada atribut  $j$

### 2.2.5. TOPSIS (Technique for Order Preferences by Similarity to the Ideal Solution)

Prinsip dari teknik TOPSIS adalah titik optimal berada pada titik yang mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif (PIS) dan titik yang mempunyai jarak terjauh dari solusi ideal negatif (NIS). Solusi ideal adalah solusi yang sesuai dengan tujuan yang ditetapkan yang disebut dalam matriks performansi sebagai *target*. Metode ini bertujuan untuk menghindari risiko. Hasil perkembangan model TOPSIS sering digunakan untuk pemilihan bahan.

Langkah-langkah penggunaan metode ini adalah sebagai berikut (Jahan et al, 2013; Krohling et al, 2015):

- a. Konversi data tingkat performansi aktual material alternatif  $i$  terhadap atribut  $j$  ( $x_{ij}$ ) dalam matriks keputusan menjadi data standar yang ternormalisasi ( $r_{ij}$ ). Hasil normalisasi data dimasukkan ke dalam matriks normalisasi keputusan. Rumus matematis normalisasi data dapat dilihat pada persamaan (2.1)
- b. Bobot kepentingan untuk setiap atribut  $j$  dikembangkan ( $w_j$ )
- c. Kolom pada matriks normalisasi keputusan dikalikan dengan bobot atribut yang ditunjukkan dalam persamaan (2.8)

$$V_{ij} = r_{ij} * w_j, j = 1, 2, 3, \dots, n ; i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.8)$$

dimana:

$V_{ij}$  = hasil perkalian bobot atribut  $j$  dengan data tingkat performansi material alternatif  $i$  terhadap atribut  $j$

d. Identifikasi PIS ( $V_n^+$ )

$$\{V_1^+, V_2^+, V_3^+, \dots, V_n^+\} = \{(Max V_{ij})\} \quad (2.9)$$

e. Identifikasi NIS ( $V_n^-$ )

$$\{V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_n^-\} = \{(Min V_{ij})\} \quad (2.10)$$

f. Pengukuran jarak untuk setiap alternatif terhadap solusi ideal ( $D^+$ ) dan solusi ideal negatif ( $D^-$ ) menggunakan persamaan (2.11 – 2.12)

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.11)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.12)$$

dimana:

$D_i^+$  = jarak alternatif i terhadap solusi positif ideal

$D_i^-$  = jarak alternatif i terhadap solusi negatif ideal

$V_{ij}$  = hasil perkalian data tingkat performansi alternatif i terhadap atribut j yang ternormalisasi dengan bobot atribut j

$V_j^+$  = PIS (*Positive Ideal Solution*)

$V_j^-$  = NIS (*Negative Ideal Solution*)

g. Hitung indeks kedekatan alternatif i terhadap solusi ideal ( $C_i$ )

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (2.13)$$

dimana:

$C_i$  = indeks kedekatan relative alternatif i terhadap solusi ideal

h. Memberi peringkat terhadap alternatif berdasarkan hasil dari langkah g. Kandidat material alternatif yang mempunyai nilai indeks kedekatan terbesar merupakan solusi yang ideal.

### 2.2.6. Pengaruh Elemen Paduan

Menurut Suroto et al (1983), Elemen paduan sangat berpengaruh pada struktur baja. Elemen paduan diperlukan untuk menstabilkan sifat dari elemen karbon yang reaktif, sehingga dapat dilakukan proses pengerjaan dengan baik. Elemen-elemen paduan yang biasanya dicampur dengan elemen karbo, yaitu Belerang,

*Phosphor, Silicon, Mangan, Chrom, Nikel, Molybdenum, Wolfram, Vanadium, dan Kobalt. Masing-masing elemen mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap struktur baja bila mempunyai kadar yang tinggi, khususnya terhadap chemical properties* dari baja tersebut. Pengaruh-pengaruh tersebut antara lain:

a. Belerang dan *Phosphor*

Kadar belerang (S) yang tinggi dapat mengakibatkan baja bersifat rapuh jika dalam keadaan panas. Kadar phosphor (P) yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan baja bersifat rapuh jika dalam keadaan dingin.

b. Silizium (*Silicon*)

Silizium (Si) dapat mempengaruhi baja jika kadarnya lebih besar dari 0.5%. Pengaruh elemen ini adalah dapat meningkatkan kekuatan baja, yaitu meningkatkan batas plastis baja tersebut. Struktur baja tersebut menjadi berserat dan mempunyai butir yang kasar.

c. Mangan

Mangan (Mn) dapat mempengaruhi baja jika kadarnya lebih besar dari 0.6%. Baja yang mempunyai kadar mangan (Mn) yang tinggi mempunyai sifat yang tahan aus dan sukar untuk dikerjakan.

d. Krom

Baja yang mempunyai kadar krom (Cr) lebih besar dari 13% adalah baja tahan karat. Elemen ini juga dapat meningkatkan kekerasan baja, jadi krom dapat menyebabkan baja tahan aus. Baja dengan paduan krom akan mempunyai sifat kuat, keras, dan tahan terhadap asam.

e. Nikel

Baja dengan kadar nikel (Ni) yang tinggi memiliki sifat muai yang kecil, tahan panas, dan tahan karat. Kadar Nikel yang mempengaruhi baja adalah lebih besar dari 20%.

f. Molybdenum

Baja paduan molybdenum (Mo) agak tahan panas. Molybdenum meningkatkan kekuatan dan batas mulur baja, terutama kekuatan baja terhadap pembebanan terus-menerus.

g. Wolfram

Wolfram (W) dengan kadar 18% meningkatkan kekerasan baja dan meningkatkan kemampuan potong dan tahan aus. Wolfram dipakai pada *High Speed Steel* dan *Hot Work Steel*.

h. Vanadium

Vanadium (V) membuat baja menjadi tahan panas, meningkatkan kemampuan potong dan tahan aus.

i. Kobalt

Kobalt (Co) mempengaruhi sifat magnetik dari baja dan berperan pada pembentukan struktur butiran kasar.

### 2.2.7. Standard Operating Procedures (SOP)

Hadiwiyono et al (Tambunan, 2013) mengatakan bahwa SOP merupakan sekumpulan prosedur standar yang digunakan sebagai pedoman dalam suatu perusahaan untuk memastikan langkah kerja dan penggunaan fasilitas pemrosesan setiap anggota berjalan secara efektif, konsisten, standar dan sistematis. Manfaat SOP adalah sebagai dokumen referensi bagi setiap anggota organisasi baik yang sudah berpengalaman maupun karyawan baru yang berisi tentang bagaimana cara menyelesaikan suatu pekerjaan atau proses. SOP juga digunakan untuk media *supporting* dalam melakukan evaluasi kerja. (Hadiwiyono & Panjaitan, 2013). *Template* SOP yang digunakan biasanya berupa *Flowchart* dengan uraian pendukung sebagai keterangan.