TEDC Vol.9 No.3 September 2015: 160-166

PENGEMBANGAN PROSES PEMILIHAN MATERIAL OPTIMAL UNTUK PERANCANGAN REM CAKRAM OTOMOTIF

Yoddy A. Nuhgraha
Dosen Teknik Mesin Politeknik TEDC Bandung
E-mail: yan_nuhgraha@yahoo.com

Abstrak

Rem Cakram otomotif atau rotor adalah sebuah alat untuk memperlambat atau menghentikan laju putaran roda pada saat berputar dalam kecepatan tertentu. Material yang umum digunakan adalah besi cor yang membuat konsumsi bahan bakar lebih banyak karena lebih berat. Tujuan dari paper ini adalah memberikan komentar atas paper M.A. Maleque and S.Dyuti dalam pengembangan metode pemilihan material dan menetapkan material yang optimum dan lebih ringan untuk diterapkan dalam pembuatan rem cakram ini. Dua buah metode diperkenalkan dalam pemilihan material ini, yaitu biaya per unit (*cost per unit*) dan metode logika digital (*digital logic method*). Persyaratan kinerja material dianalisa dan solusi alternatif juga dievaluasi bagi material besi cor, paduan alumunium, paduan titanium, keramik dan komposit. Sifat-sifat mekanik seperti kekuatan tekan (*compressive strength*), koefisien friksi (*friction coefficient*), ketahanan aus (*wear resistance*), konduktifitas termal (*thermal conductivity*) dan berat jenis (*specific gravity*) begitu juga biaya, dipakai sebagai parameter kunci dalam tahap pemilihan material. Hasil analisanya bahwa alumunium *metal matrix composite* sebagai material yang paling cocok untuk dipakai sebagai bahan baku rem cakram.

Kata kunci : rem cakram; pemilihan material; metoda biaya per unit kekuatan; metoda logika digital.

Abstract

Automotive disc brake or rotor is a component for slowing or stopping wheel rotation in various speed. Cast iron is the common material used for it which cost more fuel consumption because of heavier. The aim of this paper is to give a comment on M.A. Maleque and S.Dyuti's paper on the development of material selection method and choosing an optimum light material and applied to the manufacturing of disc brake. Two method are introduce in this material selection, thus are cost per unit and digital logic method. Analyzing material performance and alternative solution were evaluated for cast iron, aluminum alloy, titanium alloy, ceramic, and composite materials.Material properties i.e. compressive strength, friction coefficient, wear resistance, thermal conductivity, and specific grafity, also cost used as key parameter in the material selection procedure. The result that metal matrix composite aluminum is the suitable material for disc brake.

Key words: disc Brake, material selection, cast iron, metal matrix composite aluminum, digital logic method.

1. Pendahuluan

Dalam industri otomotif, mengurangi tingkat konsumsi bahan bakar adalah isu penting yang sedang berkembang dewasa ini. Untuk mengurangi bobot kendaraan sehingga menaikkan efisiensi bahan bakar, pemakaian alumunium pada kendaraan ringan beberapa tahun ini meningkat secara drastis. Penggunaan Alumunium alloy based metal matrix composites (MMCs) yang diperkuat oleh

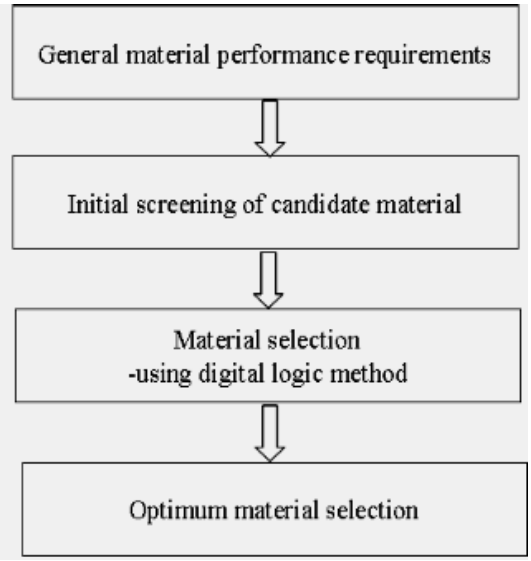
keramik menunjukkan sisi yang menjanjikan untuk aplikasi ini. Material tersebut memiliki kerapatan yang lebih rendah dan konduktifitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan besi cor yang biasa dipakai dan diperkirakan menghasilkan pengurangan berat sebesar 50 – 60 % dalam sistem rem. Lebih lanjut lagi, material pilihan ini berkemampuan lebih baik dalam kondisi yang ekstrim seperti dalam kecepatan yang lebih tinggi, beban yang lebih berat, dll. Dimana kondisi tersebut dewasa ini dalam industri otomotif modern sering terjadi. Karena komponen ini sangatlah penting ditinjau dari segi keselamatan, material yang digunakan sebagai bahan baku sistem rem haruslah stabil dan memiliki sifat tahan gesek dan aus yang handal dalam berbagai kondisi seperti beban, kecepatan, temperatur, dan lingkungan, serta ketahanan yang tinggi. Ada beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam memilih material rem cakram ini. Pertimbangan yang paling utama adalah kemampuan bahan tersebut untuk bertahan dalam kondisi gesekan dan abrasi yang tinggi. Pertimbangan lainnya adalah ketahanan terhadap temperatur tinggi karena gesekan. Berat, biaya dan mampu produksi juga merupakan faktor penting lainnya yang dipertimbangkan dalam tahap perancangan. Dalam tahap pemilihan material, mampu daur ulang adalah kelebihan dari besi cor tetapi terbentuknya CO selama proses pencairan ulang menjadi hal yang dipertimbangkan. Rem cakram harus memiliki kapasitas termal yang cukup untuk mencegah distorsi atau retak yang terjadi karena beban termal sampai panasnya dapat diserap. Hal ini tidaklah begitu penting dalam pengereman tunggal akan tetapi akan menjadi penting jika proses pengereman terjadi berulang-ulang pada kecepatan tinggi.

Diagram pemilihan material sangatlah berguna dalam membandingkan berbagai jenis material yang ada dalam tahap konsep perancangan yang dapat merefleksikan hubungan dasar antara sifat-sifat material dan dapat dipakai juga untuk mencari material yang cocok. Secara umum, proses pemilihan material adalah berdasarkan kinerja yang ditunjukkan dalam diagram tersebut. Sebagai pendekatan alternatif, metoda logika digital (digital logic method) juga digunakan dalam pemilihan material tersebut. Tujuan utamanya adalah mengembangkan pemilihan material yang memungkinkan dan menerapkannya dalam pencarian kandidat material yang paling baik sebagai bahan baku utama menggunakan diagram Ashby yang pada akhirnya merangking material berdasarkan kinerjanya memakai metoda logika digital. Desain konsep kontur permukaan dari rem rotor juga dikembangkan memakai bahan baku material optimal yang terpilih.

2. Pemilihan Material

Proses pemilihan material adalah suatu proses terbuka dan memiliki sejumlah kecil metoda yang dapat dilibatkan ke dalam posisi yang penting, biasanya akan mengarah kepada solusi paling mungkin bagi kasus yang sama. Hal ini dapat dicontohkan dari fakta bahwa komponen yang sama akan memiliki fungsi yang sama, tetapi diproduksi oleh pabrikan yang berbeda, biasanya terbuat dari material yang berbeda dan bahkan melalui proses manufaktur yang berbeda pula.

Meskipun demikian, memilih material yang optimal dari berbagai kombinasi dan proses produksi bukanlah hal yang sederhana. Dalam penelitian ini, alur metoda pemilihan material ditunjukkan dalam Gambar 1 di bawah.

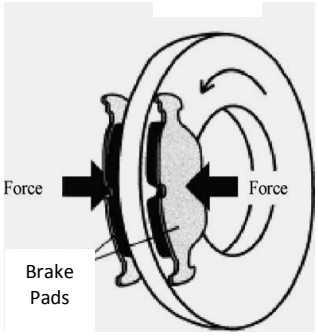


Gambar 1 Diagram alir pemilihan material

3. Prasyarat material

Dalam sistem rem, daya pengereman dihasilkan oleh penekanan pad pada cakram yang dipasang pada hub. Gambar skematiknya ditunjukkan dalam gambar 2. Rangkaian rem cakram mekanik yang digerakkan oleh daya hidrolik akan menekan sebuah tuas yang akan diubah menjadi daya tekan pada roda. Daya tekan yang besar ini menekan cakram yang menghasilkan tenaga pengereman. Semakin besar koefisien gesek dari pad, semakin besar pula tenaga yang dihasilkan. Koeffisien gesek bervariasi

berdasarkan jenis material yang dipakai. Koefisien gesek ini diukur ketika kendaraan sedang bergerak.



Gambar 2. Skematik sistem rem cakram

Semua sistem rem modern bergantung kepada pad yang menekan kedua sisi cakram untuk menaikkan tahanan putaran roda sehingga menurunkan kecepatan kendaraan. Jumlah daya geseknya adalah gaya tekan pad pada cakram dikali dengan koefisien geseknya. Jadi, daya yang memperlambat kendaraan adalah sebagai berikut

$$F_{rotor} = 2C_{f,pad}F_{pad}$$

Sistem rem adalah komponen keselamatan yang vital pada sistem transportasi darat; oleh karenanya material yang digunakan untuk sistem rem haruslah mempunyai kombinasi sifat-sifat yang baik seperti, kekuatan tekan, koefisien friksi yang tinggi, tahan aus, ringan, kapasitas termal baik, dan ekonomis.

4. Pemilihan awal material

Material utama untuk rem cakram secara tradisi adalah besi cor. Berat jenis atau kerapatannya lebih tinggi sehingga mengkonsumsi bahan bakar lebih banyak karena inersia yang lebih tinggi pula. Di bawah ini akan menjelaskan kandidat material yang berpotensi untuk dipakai sebagai pengganti material rem cakram.

Besi Cor: Kandungan karbonnya lebih dari 2% sampai 4.5% yang dinamakan besi cor kelabu karena memang warnanya demikian. Berdasarkan pertimbangan biaya, kemudahan dimanufaktur, stabilitas termal, besi cor kelabu ini merupakan material pilihan untuk aplikasi rem atau dengan kata lain merupakan material pilihan utama pada hampir semua rem cakram kendaraan. Agar dapat digunakan dengan baik, maka proses pembuatannya haruslah dilaksanakan dengan ketat dan dipantau proses kimianya dan siklus pendinginannya agar tercipta bentuk, penyebaran dan peresapan karbon yang baik. Hal ini dilakukan untuk mengurangi efek distorsi pada saat pemesinan, menghasilkan karakteristik keausan yang baik, meredam getaran yang baik sehingga menghindari retak yang mungkin terjadi.

Paduan Titanium: Paduan titanium dan kompositnya berpotensi untuk mengurangi berat rem cakram sekitar 37% lebih ringan dari pada berat besi cor konvensional pada dimensi yang sama dan bahkan memiliki kekuatan suhu tinggi serta tahan korosi yang lebih baik.

Aluminium-Metal Matrix Composite (AMC): Material ini yang diperkuat juga oleh keramik menunjukkan kinerja yang menjanjikan untuk aplikasi rem. Material ini memiliki kerapatan yang lebih rendah dan konduktifitas termal yang tinggi dibandingkan dengan besi cor kelabu, dengan perbandingan 50-60% pengurangan berat pada sistem rem. Pengereman yang berulang-ulang akan menurunkan koefisien gesek dan menghasilkan keausan permukaan yang jelas pada material AMC. Dengan demikian sifat geseknya ternyata lebih jelek daripada material besi cor. setelah ditambah partikel-partikel pengeras hasilnya menunjukkan tidak ada penurunan koefisien gesek pada pengereman yang berulang.

Wilson dkk meneliti ketahanan aus pada material AA6061 dengan penambahan 20% volume SiC komposit penguat pada pengujian geser jarak pendek (sekitar 20m). Penambahan 20% volume SiC menaikkan ketahanan aus yang signifikan, menaikkan kekakuan dan kekuatan pada suhu kamar, dan memperbaiki kekuatannya pada temperatur tinggi. Tahan aus material ini melebihi besi cor. Sebagai tambahan, karena lebih ringan maka akan berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar dan proses pabrikasinya yang lebih ekonomis.

Berdasarkan sifat-sifatnya maka kandidat material yang akan dipilih adalah:

- Besi cor kelabu
- Paduan Titanium (Ti-6Al-4V)
- Komposit Titanium – dengan penguatan 7.5% berat WC dan 7.5% berat TiC
- Komposit Alumunium – dengan penguatan 20% SiC (AMC 1)
- Paduan Al-Cu dengan penguatan 20% SiC (AMC 2)

5. Metoda logika digital (digital logic methode)

Metoda ini dapat diterapkan untuk penyeleksian material menggunakan rangking. Langkah pertama, sifat-sifat yang disyaratkan untuk membuat rem cakram ditentukan berdasarkan literatur. Hasilnya ditampilkan pada Tabel-1 menggunakan persamaan

$$\frac{N(N-1)}{2} = 10$$

Pembobotan untuk masing-masing sifat mengindikasikan tingkat kepentingan satu sifat terhadap sifat yang lain. Hasilnya dihitung berdasarkan jumlah angka keputusan yang positif dibagi dengan total angka keputusan lihat pada Tabel-2. Koefisien gesek dan tahan aus menghasilkan pembobotan tertinggi diikuti oleh kapasitas termal, kemudian kekuatan tekan dan berat jenis. Sifat-sifat material tersebut ditampilkan pada Tabel-3.

Table 1
Application of digital logic method to material selection for brake rotor

	Decision Numbers									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Compressive Strength	0	0	0	1						
Friction coefficient	1				1	0	1			
Wear rate		1			0			1	1	
Thermal capacity			1			1		0		0
Specific gravity				0			0		0	1

Table 2
Weighting factors for brake rotor

Property	Positive Decisions	Weighting Factor(α)
Compressive Strength	1	0.1
Friction coefficient	3	0.3
Wear rate	3	0.3
Thermal capacity	2	0.2
Specific gravity	1	0.1
Total	10	1.0

Langkah selanjutnya adalah membuat skala dari sifat di tabel 3. Dewasa ini, material yang memiliki kekuatan tekan, koefisien gesek dan kapasitas termal tinggi lebih disukai dan nilai tertingginya adalah 100. Skala nilainya dihitung menggunakan persamaan 2

$$\text{Scaled property} = \frac{\text{Numerical value of property} \times 100}{\text{Maximum value in the list}} \quad \ldots. (2)$$

Dimana nilai terendah dari berat jenis dan tingkat keausan diinginkan juga maka nilai skalanya dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\text{Scaled property} = \frac{\text{Minimum value in the list} \times 100}{\text{Numerical value of property}} \quad \ldots\ldots (3)$$

Nilai lain pada Tabel-4 di susun secara proporsional. Nilai skala dan Indeks kinerja (γ) diberikan dalam Tabel-5 yang dihitung berdasarkan Persamaan 4.

$$\text{Material performance index}, \gamma = \sum_{i=1}^{n} \beta i \alpha i \ldots\ldots (4)$$

Dimana β adalah nilai skala, α faktor pembobot dan i adalah penjumlahan semua n yang relevan.

Table 3
Properties of Candidate Materials for brake rotor

Material	1 Compressive Strength (MPa)	2 Friction coefficient (μ)	3 Wear rate ($x10^{-6}$ $mm^3/N/m$)	4 Specific heat, Cp (KJ/Kg. K)	5 Specific gravity (Mg/m^3)
Gray Cast iron	1293	0.41	2.36	0.46	7.2
Ti-6Al-4V	1070	0.34	246.3	0.58	4.42
Ti composite	1300	0.31	8.19	0.51	4.68
AMC 1	406	0.35	3.25	0.98	2.7
AMC 2	761	0.44	2.91	0.92	2.8

Table 4
Scaled values of properties and Performance Index

	Scaled Properties					
	1	2	3	4	5	Performance Index (γ)
Gray Cast iron	99	93	100	47	38	81.0
Ti-6Al-4V	82	77	0.96	59	61	49.5
Ti composite	100	70	29	52	58	56.0
AMC 1	31	80	73	100	100	79.0
AMC 2	59	100	81	94	96	88.6

Indeks kinerja menunjukkan kemampuan teknis dari material tersebut tanpa mempertimbangkan faktor biaya. Meskipun demikian, jika terlalu banyak sifat material yang dipertimbangkan, faktor biaya mungkin harus dipertimbangkan secara terpisah sebagai pengubah indek kinerja material. Penting juga untuk mempertimbangkan biaya material sebelum melakukan perancangan atau rangking final. Oleh karenanya, pada penelitian ini, *Figure of Merit* (FOM) atau M dihitung menggunakan persamaan 5.

$$M = \frac{\gamma}{C\rho} \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

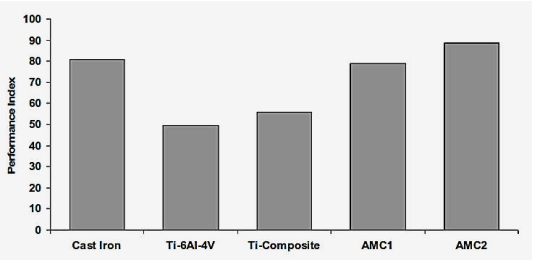
Dimana
C = Biaya material per unit berat total
ρ = Kerapatan material

Table 5
Cost and Figure of Merit of Candidate Materials

Material	Relative Cost	Performance Index (γ)	Figure of Merit	Rank
Gray Cast iron	1	81.0	11.25	2
Ti-6Al-4V	20	49.5	0.56	5
Ti composite	20.5	56.0	0.58	4
AMC 1	2.7	79.0	10.84	3
AMC 2	2.6	88.6	12.17	1

Nilai dari biaya relatif, indeks kinerja, dan FOM dari beberapa material ditunjukkan dalam Tabel 5. Plot dari indek kinerja terhadap semua material ditampilkan dalam gambar 3.

Di sini terlihat bahwa paduan Al-Cu menunjukkan indeks kinerja yang lebih tinggi diikuti oleh besi cor kelabu. Dengan demikian material AMC 2 ini dianggap sebagai material optimal untuk sistem rem cakram.

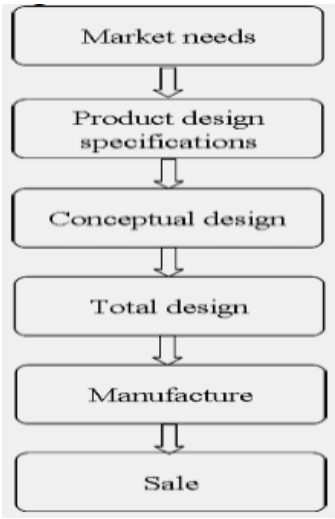


Gambar 3. Plot kinerja terhadap semua material

Dalam metoda ini, koefisien gesekan dan kerapatan dipertimbangkan kembali untuk mendapatkan indeks kinerja dan biaya per unitnya. Meskipun pada hasil terakhirnya dua sifat ini dikalahkan oleh sifat yang lain. Hal ini hanyalah sebagai kelebihan lain dalam sudut pandang teknis dan ekonomis saja.

6. Desain konsep

Desain konsep dideskripsikan sebagai bagaimana suatu desain atau produk baru dapat beroperasi dan sesuai dengan kinerja yang diinginkan. Suatu produk diharapkan dapat memenuhi kebutuhan tertentu, sehingga menghasilkan kepuasan pengguna, dan sesuai dengan hukum keselamatan dan lingkungan. Proses desain melibatkan tahapan yang berbeda dan merupakan rangkaian kegiatan mendesain secara menyeluruh dari pasar untuk dijual. Model dasar desainnya ditunjukkan pada gambar 4.

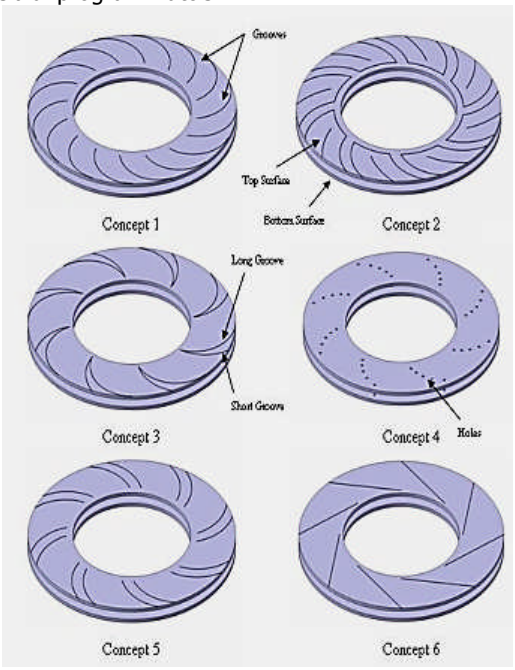


Gambar 4. Model desain total

Dalam penelitian ini, desain konsep rem cakram menggunakan material AMC dipersempit ke dalam desain peremajaan permukaannya saja. Dari beberapa desain yang ada, akan digabungkan sehingga menghasilkan desain permukaan yang paling baik.

7. Konsep dan evaluasi

Fitur ini adalah untuk merefresh kontak permukaan antara rem pad dan cakram dari cairan pelumas yang tidak diinginkan seperti pasir, air dan bahkan kantung udara yang terjebak. Pelumasan yang tidak dikehendaki ini akan mengakibatkan bidang kontak antara pad dan cakram menjadi selip sehingga daya geseknya akan hilang. Gambar 5 menunjukkan konsep 1 sampai 6 dari desain fitur permukaan rem cakram menggunakan material AMC, yang dibuat melalui program AutoCAD.



Gambar 5. Desain konsep fitur permukaan

Deskripsi singkat dari konsep tersebut adalah sebagai berikut:

Konsep 1: Banyaknya alur melengkung yang berulang-ulang memberikan tingkat peremajaan yang tinggi dan juga mengakibatkan laju keausan yang besar. Konsep ini dipakai pada pengendara ekstrim yang menginginkan tekanan rem yang besar dimana mereka menggunakan kendaraan sampai pada batasnya pada lingkungan yang jelek. Tingkat refres yang tinggi menyebabkan kotoran tersapu pada kecepatan tinggi dan memberikan gesekan maksimum

bagi pad dan cakram pada bidang kontaknya. Kelemahan dari konsep ini adalah bidang kontak yang paling kecil dibandingkan dengan konsep yang lain sehingga memerlukan jarak pengereman yang lebih jauh.

Konsep 2: Konsep ini memberikan tingkat refres yang kedua diantara yang lain. Permukaannya memiliki berbagai pola alur yang tidak seragam untuk memuaskan pengendara. Keunggulannya adalah dari penampilannya yang akan menarik banyak peminat. Kuncinya adalah: Biaya produksi tinggi, bidang kontak rendah, tingkat keausan pad tinggi dan hanya cocok untuk penggunaan khusus atau kendaraan pameran.

Konsep 3: Bentuk alur V memberikan refres permukaan dengan cepat dan seragam tanpa mengorbankan bidang kontak yang banyak. Alur v pendek yang banyak memberikan kinerja yang seimbang. Panjang alurnya memberikan nilai tambahan pada konsep ini yaitu memberikan dua tingkat refres permukaan yang berbedasehingga maksimal dalam penyapuan kotoran. Alur yang lebih pendek akan menyapu partikel ringan dan kecil dan alur yang lebih panjang menyapu partikel yang lebih besar. Kelemahan konsep ini adalah biaya produksi yang tinggi karena menggunakan pemesinan yang akurat/presisi untuk membuat alurnya.

Konsep 4: Lubang dibuat secara melintang dari permukaan atas sampai ke bawah. Lubang ini berfungsi membuang partikel dan lapisan fluida dari permukaan cakram. Kelemahannya adalah lubang tersebut hanya berfungsi pada sebagian bidang kontak saja, konsentrasi tegangan dapat terjadi yang menyebabkan retak, perambatan panas yang jelek dan daya cengkram yang jelek pula.

Konsep 5: Bentuk alur ganda pada konsep ini memberikan tingkat refres yang tinggi dengan bidang kontak yang sedang. Tingginya tingkat refres ini menimbulkan tegangan geser yang tinggi antara alur dan pad dan menyebabkan ttingkat keausan yang tinggi. Biaya produksinya akan lebih rendah dan terlihat menarik.

Konsep 6: Pada konsep ini terdapat alur yang lurus yang buat pada permukaan cakram. Alur lurus sangat mudah dibuat dengan biaya rendah dan kesalahan yang minimal. Alur ini secara merata merefres permukaan sehingga memberikan gesekan dan bidang kontak maksimum antara pad dan cakram tanpa mengorbankan keausan yang banyak pada pad. Penampilannya menarik dan konsep ini yang dipilih berdasarkan antusiasme yang diperoleh.

8. Evaluasi Konsep

Penilaian konsep di atas menggunakan metoda pembobotan. Enam konsep tersebut dibandingkan satu sama lainnya berdasarkan nilai bobotnya. Penilaiannya disajikan pada tabel 6. Dari tabel 6 tersebut dapat dilihat bahwa konsep 6 mendapatkan bobot nilai tertinggi di antara lainnya. Berdasarkan hal ini maka konsep permukaan nomor 6 merupakan kandidat yang potensial untuk dikembangkan lebih jauh lagi dalam industri otomotif.

Tabel 6. Matrik nilai kinerja

No	Features	Concept 1			Concept 2			Concept 3			Concept 4			Concept 5			Concept 6		
		W	S	T	W	S	T	W	S	T	W	S	T	W	S	T	W	S	T
1	Rejuvenate rate	5	5	25	5	4	20	3	4	12	3	4	12	4	3	12	4	4	16
2	Contact area with pad	2	1	2	4	3	12	5	4	20	1	2	2	4	4	16	4	4	16
3	Outlook/Fashion	5	4	20	5	4	20	5	4	20	4	5	20	3	4	12	3	2	6
4	Wear rate	1	2	2	3	2	6	4	4	16	1	2	2	2	3	6	3	4	12
5	Heavy load usage	5	4	20	4	4	16	3	4	12	3	2	6	3	3	9	4	4	16
6	Normal load usage	1	1	1	3	4	12	4	4	16	3	3	9	3	2	6	3	4	12
7	Environmental resistance	5	5	25	3	4	12	3	2	6	4	3	12	2	3	6	3	4	12
8	Manufacturability	3	2	6	3	2	6	4	5	20	3	3	9	3	4	12	5	5	25
9	Cost Effectiveness	2	2	4	2	3	6	3	3	9	4	3	12	3	2	6	4	5	20
10	Endurance capability	5	4	20	5	4	20	4	5	20	1	2	2	3	4	12	5	4	20
Total Points		**125**			**130**			**151**			**86**			**97**			**155**		

Note:
W means the weightage for the characteristic.
S means the score of the concept.
T is the product of weightage and score of the concept

9. Analisa

Dalam penelitian di atas metoda pemilihan material untuk mencari material alternatif yang akan digunakan sebagai bahan baku rem cakram pada sistem rem kendaraan dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan proses penyeleksian awal dari berbagai material yang ada menggunakan diagram Ashby. Penyeleksian ini berdasarkan properti yang harus dimiliki oleh sebuah rem cakram. Dalam proses ini didapatkan beberapa material yang potensial dijadikan sebagai bahan baku alternatif yaitu, besi cor kelabu, paduan Titanium, dan AMC. Dalam proses penyeleksian awal ini tidak diterangkan secara mendetail mengapa dan bagaimana mendapatkan material di atas sehingga ada kesan bahwa penulis artikel ini hanyalah menentukan material yang memang sudah secara umum digunakan sebagai bahan baku rem cakram, yaitu besi cor kelabu, dan material yang lainnya hanyalah berdasarkan perkiraan dari sifat-sifatnya yang sudah secara umum diketahui yaitu lebih ringan, kuat, dan

tahan korosi. Terlebih lagi dalam hal properti bobot yang lebih ringan sangat sesuai sekali dengan keinginan penulis untuk mereduksi bobot sistem rem cakram, agar dapat menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan tersebut.
Jika kita berbicara mengenai pengurangan bobot kendaraan supaya irit khususnya kendaraan ringan yang digunakan di jalan raya untuk pemakaian sehari-hari maka akan berkutat di sekitar pengurangan bobot engine misalnya, atau pengurangan bobot rangka (chassis) dan body kendaraan tersebut yang saya kira akan memberikan efek yang besar/signifikan bagi keseluruhan bobot mati kendaraan. Jadi jika ingin menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan maka akan lebih realistis jika ada pengurangan bobot pada engine, chassis, atau body.
Dalam metoda logika digital (digital logic method) sangat tergantung sekali kepada obyektifitas si peneliti. Karena pertimbangannya sangat dapat dipengaruhi oleh kepakaran peneliti ataupun kepentingan-kepentingan pihak lain. Mungkin akan lebih realistis jika kita menyebarkan kepada para pakar di bidang ini untuk ikut memberikan pembobotan pada metoda ini, dengan cara menyebarkan borang/kuesioner sebagai bagian dari metoda penelitian statistik misalnya, yang kemudian dari beberapa masukan kita simpulkan secara obyektif.
Kemudian pada pengembangan desain konsep, meskipun teknologi manufaktur dewasa ini sudah mampu membuat semua konsep desain yang ada dari material AMC 2 akan timbul biaya produksi yang mahal karena material AMC akan relatif lebih mahal daripada besi cor kelabu. Sehingga patut dipertimbangkan oleh calon pembeli kendaraan, apakah ingin membeli kendaraan yang irit tapi mahal.
Terlepas dari hal di atas, maka saya kira hasil dari penelitian ini akan dapat diterapkan pada kendaraan untuk keperluan khusus. Seperti misalnya kendaraan balapan atau kendaraan pameran bukan untuk kendaraan yang diproduksi secara massal (*mass production vehicle*).

10. Kesimpulan

Metoda pemilihan material untuk rem cakram pada industri otomotif telah dilakukan. Fungsi dan spesifikasi dari cakram dipakai untuk penyeleksian awal material kandidat. Metoda logika digital menghasilkan indek kinerja yang tinggi untuk material AMC 2 dan diidentifikasikan sebagai material yang optimal untuk cakram.
Analisa Desain konsep dari AMC juga telah dilakukan. Pada industri otomotif, AMC bisa menjadi material pengganti yang potensial untuk berbagai komponen kendaraan khususnya rem cakram. Dapat disimpulkan bahwa material AMC 2 dan konsep 6 adalah kombinasi yang baik dalam mendesain rem cakram.

Daftar Pustaka

[1] M.A. Maleque and S.Dyuti, “The Development of an Optimum Material Selection Process for the Design of Automotive Brake Rotor”

[2] M.A. Maleque, S.Dyuti and M.M. Rahman (Member, IAENG)” Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol III, WCE 2010, June 30 - July 2, 2010, London, U.K.

[3] R.M. Wang and M.K. Surappa, “Microstructure and interface structure studies of SiCp-reinforced Al (6061) metal-matrix composites.” Mater. Sci. Eng. A, vol. 254 (1-2), pp. 219-226, 1998.

[4] Shaoyang Zhang, Fuping Wang, “Comparison of friction and wear performances of brake material dry sliding against two aluminum matrix composites reinforced with different SiC particles”. J. Mater. Process. Technol. Vol. 182, pp. 122–127, 2007.

[5] T.F. Stephenson et al., Aluminum Hybrid Composites Containing Nickel-Coated Graphite Particulate, Processing, Properties and Applications of Cast Metal Matrix Composites, eds. P. Rohatgi and P.A. Khan (Warrendale, PA: TMS, 1996), pp. 337–351.

[6] Ashby M F. Materials selection in mechanical design. 3rd ed., UK: Butterworth Heinemann; 2005.

[7] Shanian A, Milani A S, Carson C, Abeyaratne R C. A new application of ELECTRE III and revised Simos" procedure for group material selection under weighting uncertainty. Knowledge-Based Systems, Vol. 21, pp. 709–720, 2008.

[8] Jahazi M, Hossein-Nejad S. The development of an optimum manufacturing and material selection process for the fabrication of labyrinth seal strips. J. Mater. Process. Technol. Vol. 152, pp. 272–275, 2004.

[9] Dieter G E, Engineering Design. 3rd ed., USA: McGraw-Hill; 2000.

[10] Farag M M. Materials and Process Selection for Engineering Design. 2nd ed., New York: CRC Press; 2008, pp. 259-280.

[11] http://www.hayesdiscbrake.com/hayesu_product1.shtml