

Penentuan Parameter Produksi Material Rem Ramah Lingkungan Untuk Aplikasi Kereta Api Menggunakan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Penguat

Hilman Syaeful A^{1)*}, IGN Wiratmaja Pudja²⁾, Agus Triono³⁾

¹⁾ UPT Balai Pengembangan Instrumentasi LIPI,
Jl. Sangkuriang Komp. LIPI Gd. 30 Bandung-Indonesia 40135
Email: hilm003@lipi.go.id

^{2,3)} Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung.

Abstrak

Evaluasi untuk menentukan parameter produksi material rem kereta api ramah lingkungan menggunakan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai penguat telah dilakukan menggunakan metode *extension evaluation*. Penelitian dilakukan pada skala sampel dengan memvariasikan beberapa parameter produksi atau pembuatan material diantaranya adalah, beban penekanan, waktu tekan dan temperatur. Kemudian sampel yang telah dibuat diuji berdasarkan kriteria-kriteria yang dipersyaratkan oleh spesifikasi teknis rem komposit PT. KAI. Dari hasil pengujian dan evaluasi didapatkan parameter produksi yang terbaik adalah: beban penekanan 15 ton, waktu tekan 40 menit dan temperatur 200°C. Parameter-parameter tersebut didapatkan dari hasil evaluasi yang menempatkan sampel S14 sebagai sampel terbaik dan paling mendekati spesifikasi teknis PT. KAI.

Kata kunci: rem komposit, tandan kosong kelapa sawit, *extension evaluation*

Abstract

Evaluation to determine production parameters of material for train brake that is environmentally friendly by using *serat tandan kosong kelapa sawit* (TKKS) as reinforcement was done by using extension evaluation method. The research was carried out with variations some of parameter productions or by making material such as pressure load, pressure time and temperatures. The samples then were tested based on criteria from the technical specification for composite brake from PT KAI. It is obtained from the testing that the best parameter productions are: Pressure 15 ton, pressuring time 40 minutes, and temperature is 200oC. The result from evaluation indicate that sample S14 as the the best sample that approach technical spesification from the PT. KAI

Key word: rem komposit, tandan kosong kelapa sawit, *extension evaluation*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan serat alami sebagai penguat dalam material komposit telah berkembang dan menarik perhatian peneliti maupun industri dalam dasawarsa terakhir, dikarenakan memiliki beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan serat sintetis yaitu ramah lingkungan, memiliki bobot yang ringan, dapat didaur ulang, tidak menimbulkan iritasi pada kulit, harga yang relatif murah dan dapat diperbaharui.[1] Material komposit juga telah digunakan secara luas sebagai material rem untuk berbagai aplikasi diantaranya: otomotif, kereta api dan penerbangan. [2]. Penggunaan serat alami yang diaplikasikan sebagai penguat dalam material rem masih jarang ditemui, padahal serat alami sangat potensial untuk menggantikan serat sintetis atau pengganti material asbestos. Serat asbestos yang dijadikan sebagai penguat pada material rem telah diketahui dapat menimbulkan masalah kesehatan yang serius seperti kanker paru-paru sehingga di beberapa negara sudah dilarang penggunaannya.[7] Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu serat alami yang dihasilkan dari limbah pengolahan minyak kelapa sawit (CPO). Industri minyak kelapa sawit akan menghasilkan limbah TKKS sebesar 1.1 ton untuk setiap 1 ton CPO yang diproduksi.[9] Indonesia sebagai salah satu produsen CPO terbesar didunia akan menghasilkan limbah TKKS yang berlimpah dan belum dimanfaatkan dengan baik. Sampai saat ini, pemanfaatan TKKS masih relatif terbatas, yaitu digunakan langsung sebagai mulsa di perkebunan kelapa sawit, atau dibakar dalam insinerator dan abunya dimanfaatkan sebagai substitusi pupuk kalium. Pemanfaatan TKKS sebagai pupuk kalium atau mulsa masih dinilai tidak ekonomis dan pembakaran TKKS di insinerator akan menyebabkan polusi udara.

Ditinjau dari sifat fisik, morfologi, dan komposisi kimia, TKKS dapat digunakan sebagai bahan baku potensial untuk pengisi atau penguat komposit polimer. Hal ini disebabkan kandungan selulosa pada TKKS yang cukup besar mencapai sekitar 65 %.[9] Bila potensi tersebut dapat dimanfaatkan dengan baik akan menghasilkan nilai tambah yang lain selain produksi utama yaitu CPO. Sesuai dengan fungsinya, material rem komposit terdiri dari beberapa jenis material penyusun yaitu: binder, filler, reinforcement, dan friction modifier. Pada umumnya komposisi dan parameter produksi dalam pembuatan rem komposit dari pabrikan didasarkan pada penelitian dan pengalaman empirik karena belum adanya pengetahuan yang dapat memprediksi secara presisi pengaruh dari komposisi masing-masing material penyusun terhadap sistem pengereman dan fenomena fisik yang ditimbulkan oleh pengereman. Adanya interaksi dari beberapa komponen material penyusun yang berbeda akan saling mempengaruhi satu sama lain. [7] Penelitian ini difokuskan untuk menentukan parameter produksi yang

* Penulis korespondensi, phone: 022-2503053, Fax: 022-2504577
Email: hilm003@lipi.go.id

terbaik dalam pembuatan material rem ramah lingkungan untuk aplikasi kereta api dengan material penyusun yang bebas material asbestos dan menggunakan serat TKKS sebagai penguat. Penelitian material rem dibuat dalam skala sampel dengan memvariasikan beberapa parameter produksi yaitu: beban penekanan, waktu tekan dan temperatur. Spesifikasi normatif yang harus dipenuhi dalam pembuatan material rem mengacu ke spesifikasi teknis rem komposit PT. KAI, dengan beberapa kriteria hasil pengujian yang harus dipenuhi diantaranya: massa jenis, koefisien gesek, kekerasan, kekuatan mekanik (kekuatan bending, tekan, geser), konduktifitas termal, dan ketahanan panas. Kriteria-kriteria tersebut, harus dipenuhi dengan tujuan untuk menghasilkan rem yang berkualitas baik, dengan harga yang murah dan umur yang panjang. Untuk mengevaluasi parameter produksi material rem komposit, digunakan Extension Engineering Method, EEM. EEM merupakan salah satu tool akademik yang didasarkan pada extension theory yang dapat digunakan untuk meranking atau menyeleksi material rem komposit berdasarkan parameter dengan kriteria yang banyak (multiple criteria).[7],[12].

2. METODE

2.1. Pembuatan Sampel

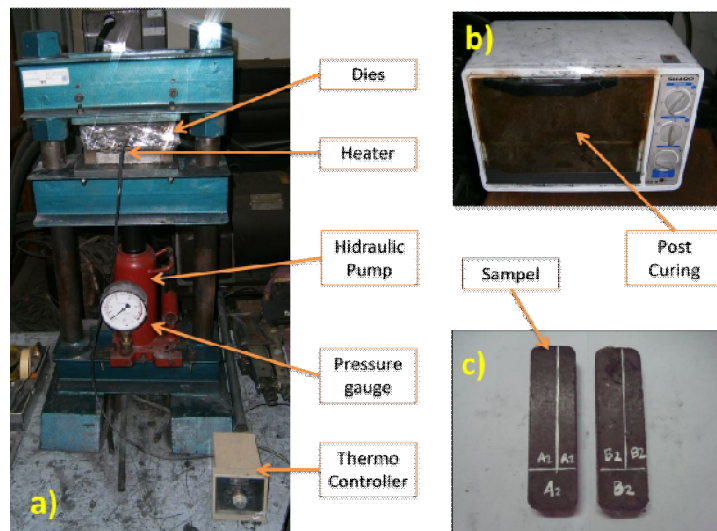
Sampel material rem komposit dibuat dengan komposisi material penyusun yang berbeda-beda sesuai dengan fungsinya. Tabel 1 memperlihatkan jenis dan fungsi dari material penyusun rem komposit. Setelah melalui tahap penyaringan, penimbangan dan pencampuran, kemudian material sampel di masukan dalam cetakan mesin press panas. Sampel dibuat dengan memvariasikan beberapa parameter produksi diantaranya adalah: variasi beban penekanan 10, 15 dan 20 ton, variasi temperatur 175 dan 200 °C dan waktu tekan 40 dan 50 menit, lihat Tabel 2. Setelah sampel dibuat dengan parameter produksi yang telah ditentukan, maka proses selanjutnya adalah *post curing*. Pada proses ini sampel dipanaskan kembali tanpa ada beban penekanan di dalam oven pemanas selama 60 menit pada temperatur 100 °C. Gambar 1, memperlihatkan mesin pembuat sampel, proses *curing* dan sampel rem hasil pembuatan.

Tabel 1. Material penyusun rem komposit

Fungsi	Jenis Material
Friction modifier	Grafit, Alumina, Al ₂ O ₃
Binder	Resin Phenol
Reinforcement	Serat TKKS Iron powder
Filler	Kalsium Hidroxida Barytes (Ba SO ₄)

Tabel 2. Variasi parameter produksi

No. Sampel	Beban Ton	Temperatur °C	Waktu Menit
S13	10	200	40
S14	15	200	
S15	20	200	
S16	10	175	
S17	15	175	
S18	20	175	
S19	10	200	50
S20	15	200	
S21	20	200	
S22	10	175	
S23	15	175	
S24	20	175	



Gambar 1. a) Mesin press pembuat sampel, b) Proses Curing, c) Sampel rem

2.2. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Material

Setelah sampel selesai dibuat, kemudian sampel di potong sesuai dengan dimensi sampel uji dari masing-masing standar pengujian. Hasil pengujian tersebut, harus memenuhi kriteria-kriteria yang dipersyaratkan oleh spesifikasi teknik rem komposit PT. KAI, lihat Tabel 2..

Tabel 3. Spesifikasi teknik rem komposit PT. KAI.[15]

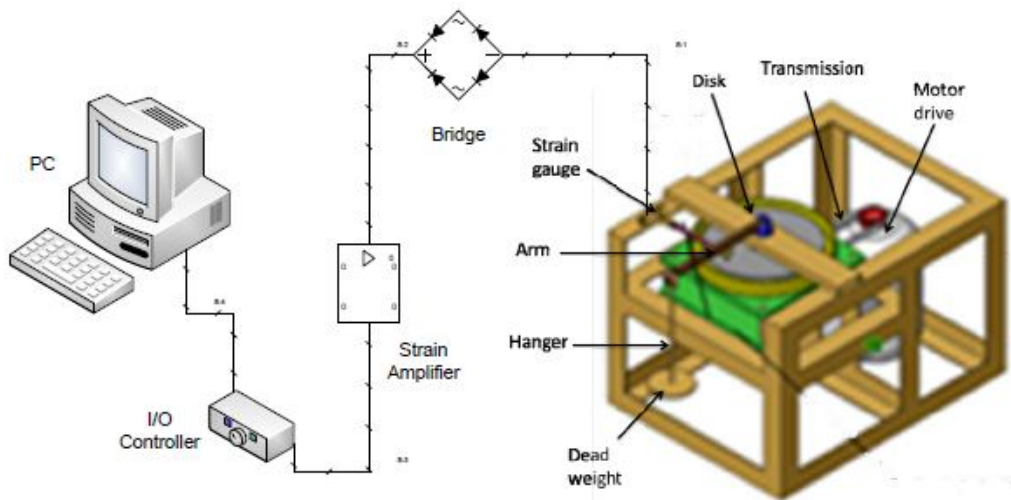
No	Sifat Fisik & Mekanik	Spesifikasi Teknik PT. KAI
1	Berat jenis, gr/cm ³	1.8 – 2.4
2	Koefisien gesek	0.14 – 0.22
3	Hardness, HRR	70 – 105
4	Crush strength, N/cm ²	Min. 2500
5	Cross breaking strength, N/cm ²	2400 – 4000
6	Shear strength, N/cm ²	1500 – 3500
7	Modulus of elasticity, N/cm ²	24000 – 150000
8	Thermal conductivity, W/m.K	Min. 0.8
9	Ketahanan panas operasional	tidak meleleh dan tidak terbakar untuk pemakaian kontinyu
	a. 250°C	
	b. 500°C	boleh terbakar namun tidak menimbulkan nyala api

Pengujian sifat fisik dan mekanik material rem terdiri dari pengujian massa jenis, koefisien gesek, kekerasan, ketahanan geser, kekuatan tekan dan kekuatan bending. Pengujian massa jenis mengacu ke standar ASTM D792, massa jenis diperoleh dengan melakukan penimbangan sampel menggunakan *electronic balance* dengan resolusi hingga 0,0001g kemudian volume dari sampel yang ditimbang diukur sehingga didapatkan nilai dari massa jenis sampel.[21] Pengujian koefisien gesek mengacu ke standar ASTM D1894 dengan tipe *Pad On Disk*. [16] Mesin uji gesek terdiri dari motor penggerak yang berfungsi untuk memutar disk, kemudian putaran disk ditahan oleh sampel yang ditekan secara vertikal oleh *pad* di atas disk. Sampel pengujian gesek dibuat dengan ukuran 20x20x10 mm. Gaya normal yang menekan sampel di atas disk, adalah gaya yang dihasilkan dari pembebanan *dead weight* yang digantung pada hanger di ujung lengan, kemudian gaya gesek yang dihasilkan akan sebanding dengan gaya yang menekan pada *load cell* yang didalamnya dipasang sensor *strain gauge*. Hasil penginderaan dari *strain gauge* berupa regangan kemudian dikonversi menjadi tegangan melalui *wheatstone bridge* dan keluaran sinyalnya dikuatkan oleh *strain amplifier*. Sinyal keluaran dari sensor tersebut kemudian direkam menggunakan sistem akuisisi data **LabView**, lihat Gambar 2.

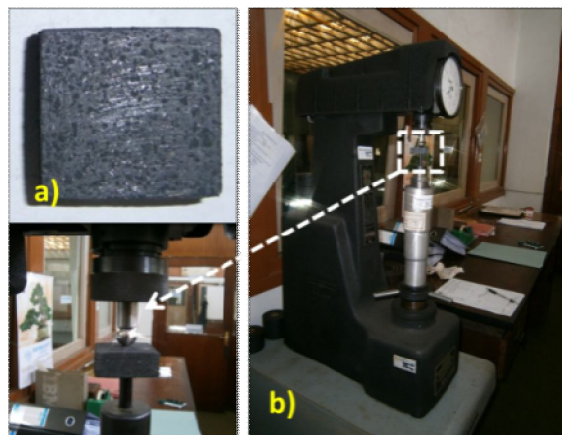
Pengujian kekerasan mengacu pada standar ASTM E18-08 menggunakan mesin uji Rockwell-R (Wilson Instrument, USA).[17] Sampel uji kekerasan di buat dengan ukuran 35 x 35 x 16 mm. Sampel uji dan mesin pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3.

Pengujian ketahanan geser mengacu ke standar ASTM D732, Sampel pengujian ketahanan geser memiliki dimensi 50 x 50 x 6 mm. Sampel uji tersebut kemudian akan ditekan menggunakan punch dengan diameter 1 inch. Tekanan yang diberikan pada punch mengakibatkan tegangan geser pada sampel. Tekanan maksimum yang menyebabkan sampel gagal digunakan untuk menghitung ketahanan geser material blok rem.[18]

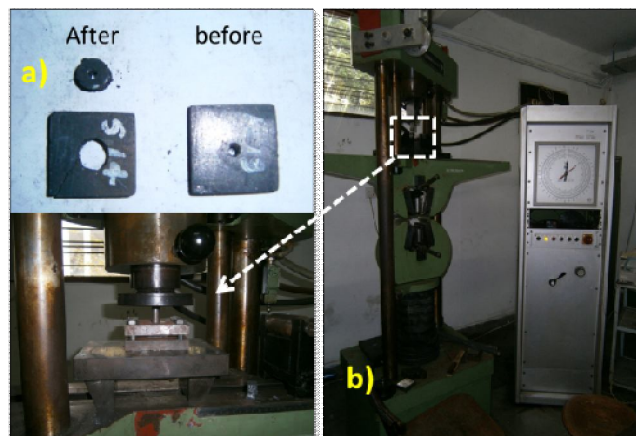
Pengujian ketahanan geser menggunakan mesin uji *universal testing machine* (Tarnogrocky, Germany) dengan *fixture* khusus uji geser, lihat Gambar 4. Pengujian kekuatan tekan mengacu ke standar ASTM D695,[19] dan pengujian kekuatan bending mengacu ke standar ASTM D790,[20] kedua pengujian tersebut menggunakan mesin yang sama dengan pengujian ketahanan geser, namun dengan *fixture* yang disesuaikan untuk masing-masing pengujian, lihat Gambar 5.



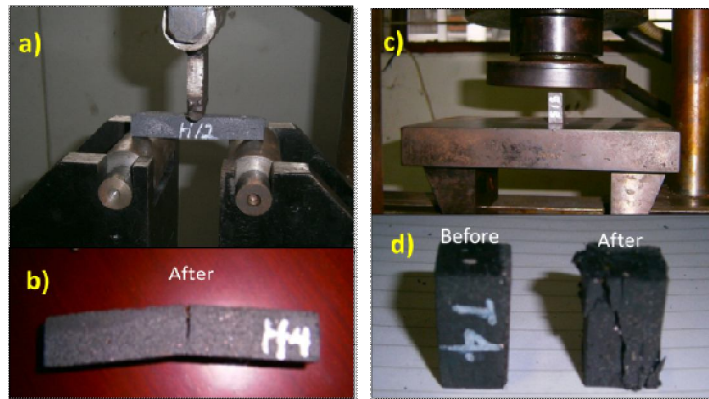
Gambar 2. Gambar skematik pengujian gesek rem komposit



Gambar 3. a) Sampel pengujian kekerasan HR_R, b) Mesin uji kekerasan



Gambar 4. a) Sampel uji geser, b) mesin uji ketahanan geser



Gambar 5. a) pengujian bending, b) sampel setelah diuji bending, c) pengujian tekan, d) sampel sebelum dan setelah diuji tekan

2.3. Metode *Extension Evaluation* Untuk Mengevaluasi Parameter Produksi Material Rem

Metode *extension evaluation* yang didasarkan pada teori ekstensi, bisa dikembangkan sebagai *tool* pengambil keputusan yang efektif untuk menyeleksi dan meranking material rem. Kriteria-kriteria pengambilan keputusan didapatkan dari parameter yang harus dipenuhi misalnya dari spesifikasi teknis, seperti koefisien gesek, massa jenis, sifat mekanik, konduktivitas termal, dan ketahanan panas. Selain itu, banyak aspek lain dapat dijadikan pertimbangan dalam metode *extension evaluation*. Proses seleksi didasarkan pada nilai *Weight Average Dependent Degree*, WADD sebagai index yang komprehensif dalam menyeleksi material rem. Proses evaluasi atau seleksi pada metode *extension evaluation* didasarkan pada nilai *Weight Average Dependent Degree*, WADD sebagai index yang komprehensif dalam menyeleksi material rem. Perhitungan fungsi dependen merupakan langkah penting dalam metode *extension evaluation*. Bila diasumsikan terdapat suatu interval $X = (a, b)$ dan suatu titik, M dimana $M \in X$, maka fungsi dependen pada setiap titik pada $x \in (-\infty, +\infty)$ yang berkaitan dengan interval X dan titik M dapat didefinisikan sebagai berikut: [7][12]

$$K(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{M-a}, & x \leq M \\ \frac{b-x}{b-M}, & x \geq M \end{cases} \quad (1)$$

dimana fungsi dependen memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- (a) $K(x)$ mencapai nilai maksimum pada titik $x = M$ dan $K(x) = 1$
- (b) $x \in X$ dan $x \neq a, b \leftrightarrow K(x) > 0$
- (c) $x \notin X$ dan $x \neq a, b \leftrightarrow K(x) < 0$
- (d) $x = a$ atau $b \leftrightarrow K(x) = 0$

Bila terdapat suatu interval berupa batasan-batasan dari beberapa parameter yang harus dipenuhi, misalnya dalam spesifikasi teknis, maka fungsi dependen dapat diklasifikasikan menjadi 4 sifat sebagai berikut:[7]

Jika fungsi dependen akan mencapai nilai maksimum pada nilai tengah dari suatu interval dengan $M = (a + b)/2$, maka fungsi dependen dapat dihitung dengan persamaan:

$$K(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{b-a}, & x \leq \frac{a+b}{2} \\ \frac{2(b-x)}{b-a}, & x \geq \frac{a+b}{2} \end{cases} \quad (2)$$

Jika fungsi dependen mencapai nilai maksimum di kiri interval, sehingga fungsi dependen dihitung:

$$K(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & x < a \\ 0 \vee 1, & x = a \\ \frac{b-x}{b-a}, & x > a \end{cases} \quad (3)$$

Jika fungsi dependen akan mencapai nilai maksimum pada suatu titik M dimana $M \in X = (a, +\infty)$. sehingga fungsi dependen dapat dinyatakan:

$$K(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{M-a}, & x < M \\ \frac{M}{2x-M}, & x \geq M \end{cases} \quad (4)$$

Jika fungsi dependen mencapai titik optimum di sebelah kanan batas interval, dapat dinyatakan:

$$K(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & x < b \\ 0 \vee 1, & x = b \\ \frac{b-x}{b-a}, & x > b \end{cases} \quad (5)$$

Karena fungsi dependen terdiri dari beberapa parameter (*multi parameter*) maka diperlukan nilai pembobotan. Nilai pembobotan ditentukan sesuai dengan seberapa penting sifat-sifat dari masing-masing parameter tersebut harus dipenuhi. Nilainya bisa ditentukan berdasarkan metode *scoring* dari pengalaman, analitik dan lain-lain. Secara sederhana pembobotan ditentukan secara merata pada masing-masing parameter, sebagai berikut:

$$w_1 = w_2 = \dots = w_n = 1/n \quad (6)$$

Sehingga dapat dihitung WADD (*weight average dependent degree*) derajat dependen rata-rata pembobotan dengan persamaan:

$$\overline{K(x)} = \sum_{i=1}^6 w_i K(x_i) \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian dan pemenuhan terhadap spesifikasi teknis dari PT. KAI. Dari Tabel 4, semua sampel tidak dapat memenuhi kriteria persyaratan untuk koefisien gesek dan kekerasan, tetapi hampir semua sampel dapat lolos untuk kriteria yang lainnya. Sampel S18 gagal untuk kriteria massa jenis dan sampel S18 dan 22 gagal pada kriteria kekuatan bending. Hasil pengujian terhadap masing-masing sampel ini digunakan sebagai data masukan untuk perhitungan menggunakan metode *extension evaluation* untuk menyeleksi sampel material rem yang terbaik sehingga parameter produksi bisa ditentukan.

Tabel 4. Hasil Pengujian dan Pemenuhan terhadap Spesifikasi Teknis PT. KAI

Spesifikasi Teknis	Koefisien Gesek, μ	Massa Jenis, g/cm ³	Kekerasan, HRR	Kekuatan Tekan, N/cm ²	Kekuatan Geser, N/cm ²	Kekuatan Bending, N/cm ²
Level min.	0,14	1,8	70	2500	1500	2400
Level maks.	0,22	2,4	105	-	3500	4000
No sampel						
S16	0,25	2,29	113,50	6726,71	1965,85	1764,92
S17	0,26	2,32	115,50	6327,99	2260,72	2568,48
S18	0,27	2,45	105,50	8127,99	2534,07	2764,42
S19	0,25	2,24	112,00	6919,54	1701,49	3505,05
S20	0,27	2,29	115,83	6636,10	2035,52	2870,26
S21	0,28	2,34	108,17	8509,65	2128,62	3314,08
S22	0,34	2,25	115,00	5689,37	2172,37	2194,66
S23	0,29	2,23	108,00	6823,51	2096,23	3095,07
S24	0,29	2,37	112,83	7741,29	1822,99	3125,30
Kriteria Evaluasi						
S16	Gagal	Lolos	Gagal	Lolos	Lolos	Gagal
S17	Gagal	Lolos	Gagal	Lolos	Lolos	Lolos
S18	Gagal	Gagal	Gagal	Lolos	Lolos	Lolos
S19	Gagal	Lolos	Gagal	Lolos	Lolos	Lolos
S20	Gagal	Lolos	Gagal	Lolos	Lolos	Lolos
S21	Gagal	Lolos	Gagal	Lolos	Lolos	Lolos
S22	Gagal	Lolos	Gagal	Lolos	Lolos	Gagal
S23	Gagal	Lolos	Gagal	Lolos	Lolos	Lolos
S24	Gagal	Lolos	Gagal	Lolos	Lolos	Lolos

Langkah pertama dalam metode *extension evaluation* adalah perhitungan fungsi dependen. Beberapa parameter dan kriteria yang harus dipenuhi dalam spesifikasi teknis dari PT. KAI digunakan sebagai data masukan untuk perhitungan fungsi dependen, lihat Tabel 5. Sifat dari setiap parameter ditentukan sebagai berikut: **Parameter 1 dan 3**, fungsi dependen mencapai nilai maksimum pada titik tengah interval, lihat persamaan (2). **Parameter 2**, fungsi dependen mencapai nilai maksimum di kiri interval, lihat persamaan (3). **Parameter 4**, fungsi dependen mencapai nilai maksimum pada suatu nilai M. sampel K1 (pengujian rem komersial) digunakan sebagai nilai referensi yang optimal, lihat persamaan (4). **Parameter 5 dan 6**, fungsi dependen mencapai nilai maksimum di sebelah kanan interval, lihat persamaan (5).

Tabel 5. Parameter, interval and sasaran pada perhitungan *extension evaluation*

Parameter,	Deskripsi	Interval,	Sasaran,
1	Koefisien Gesek	0.14 - 0.22	0.18 (ditengah interval)
2	Massa Jenis, g/cm ³	1.8 - 2.4	1.8 (dikiri interval)
3	Kekerasan, HRR	70 - 105	87.5 ditengah interval)
4	Kekuatan Tekan, N/cm ²	min 2500	6140 (sampel K1)
5	Kekuatan Geser, N/cm ²	1500 - 3500	3500 (dikanan interval)
6	Kekuatan Bending, N/cm ²	2400 - 4000	4000 (dikanan interval)

Setelah fungsi dependen dihitung, maka dengan mengacu pada persamaan (6) dilakukan pembobotan, sehingga WADD dapat diperoleh untuk setiap sampel, lihat persamaan (7). Contoh metode *extension evaluation* untuk perhitungan satu sampel, S14 dapat dilihat pada Tabel 6. Sementara ringkasan semua hasil perhitungan dari tiap sampel dapat dilihat pada

Tabel 7. Dari

Tabel 7, peringkat/*ranking* dapat diperoleh untuk setiap sampel bahwa peringkat pertama ditentukan oleh nilai tertinggi WADD sedangkan peringkat terendah ditentukan oleh nilai terendah WADD.

Tabel 6. Contoh perhitungan *extension evaluation* untuk sampel S14

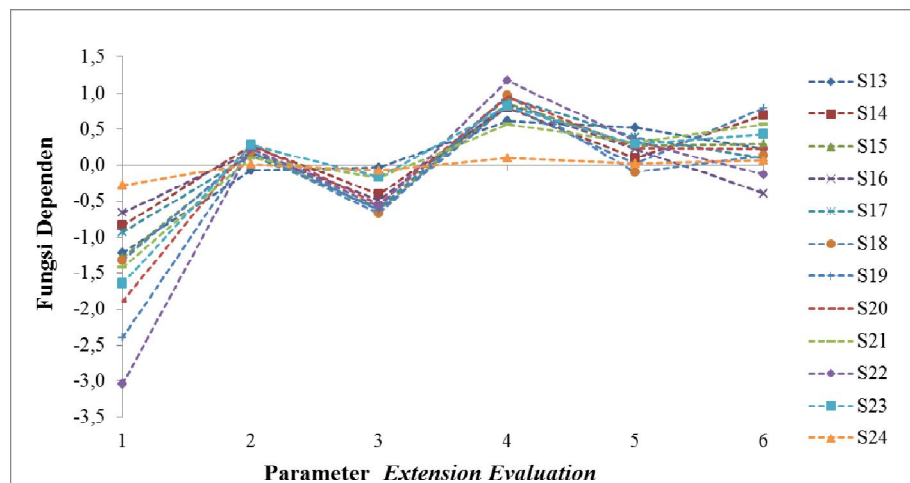
Parameter	Interval		Sasaran	Hasil Uji,	Derajat dependen, ()	Bobot,	()	— ()
	a	b						
1	0.14	0.22	0.18	0,25	-0,841	1/6	-0,140	0,103
2	1.8	2.4	2.1	2,24	0,272	1/6	0,045	
3	70	105	87.5	112,00	-0,400	1/6	-0,067	
4	Min 2500		6140	6082.12	6919,54	1/6	0.250	
5	1500	3500	3500	1701,49	0,101	1/6	0,017	
6	2400	4000	4000	3505,05	0,691	1/6	0,115	

Tabel 7. Hasil perhitungan *extension evaluation* untuk keseluruhan sampel

Parameter	Derajat Depend.	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
1	K(x1)	1,21	-0,84	-1,29	-0,66	-0,93	1,31	2,40	1,90	-1,41	3,04	1,65	0,28
2	K(x2)	0,08	0,27	0,18	0,19	0,14	0,19	0,24	0,29	0,10	0,24	0,28	0,01
3	K(x3)	0,03	-0,40	-0,62	-0,49	-0,60	0,68	0,63	0,54	-0,18	0,57	0,17	0,07
4	K(x4)	0,61	0,80	0,86	0,84	0,94	0,98	0,82	0,95	0,56	1,17	0,82	0,11
5	K(x5)	0,52	0,10	0,27	0,23	0,38	0,10	0,03	0,23	0,31	0,34	0,30	0,03
6	K(x6)	0,23	0,69	0,29	-0,40	0,11	0,14	0,79	0,23	0,57	0,13	0,43	0,08
WADD		0,01	0,10	-0,05	-0,05	0,01	0,13	0,19	0,12	-0,01	0,33	0,00	0,13
Peringkat		3	1	7	6	2	9	11	8	5	12	4	10

Dari hasil perhitungan, sampel rem S14 menduduki urutan pertama dengan parameter produksi beban penekanan 15 ton, temperatur 200 °C dan waktu tekan 40 menit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter produksi untuk sampel S14 adalah parameter yang paling optimum yang dapat digunakan dalam proses produksi material rem ramah lingkungan menggunakan serat TKKS sebagai penguat. Untuk melihat karakteristik dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode *extension evaluation*, fungsi dependen untuk setiap sampel di plot pada Gambar 6. Dari Gambar 6, terlihat parameter-parameter apa saja yang harus ditingkatkan untuk setiap sampel dengan memperbaiki hasil pengujian hingga mendekati sasaran pada kriteria yang dipersyaratkan oleh spesifikasi teknis PT.KAI, sehingga fungsi dependen akan bernilai positif dan peringkat dari setiap sampel akan

mengalami peningkatan dan menambah bobot peringkat sampel material rem.



Gambar 6. Fungsi dependen dua belas sampel yang dievaluasi

4. SIMPULAN

- Metode *Extension Evaluation* (EEM) dapat merepresentasikan sebagai *tool* yang efektif untuk menyeksi dan meranking material rem berdasarkan kriteria yang dipersyaratkan oleh spesifikasi teknis PT. KAI. Dari hasil evaluasi sampel rem S14 menduduki peringkat pertama.
- Dari hasil evaluasi parameter produksi, parameter yang sesuai untuk proses pembuatan material rem ramah lingkungan untuk aplikasi kereta api menggunakan serat TKKS sebagai penguat adalah: beban penekanan 15 ton, temperatur 200°C, waktu tekan 40 menit, temperatur *curing* 100°C dan waktu curing 60 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- O. Faruk, A. K. Bledzka, H. P. Finkb, M. Sain, *Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010*, Progress in Polymer Science, Elsevier, 2012.
- J. Kukutschová, V. Roubířek, K. Malachová, Z. Pavlíčková, R. Holuřab, J. Kubačková, V. Mičkáč, D. MacCrimmond, P. Filip, *Wear mechanism in automotive brake materials, wear debris and its potential environmental impact*, Wear, 2009, 807–817.
- U. Olofsson, *A study of airborne wear particles generated from the train traffic-block braking simulation in a pin-on-disc machine*, Wear, Elsevier Sciences, 2011, 86-91.
- Y.M. Abdel-Rahim, S.M. Darwish, *Generalized braking characteristics of friction pad synthetic graphite composites*, Tribology International, Elsevier Sciences, 2010, 838–843.
- Y. Desplanques, O. Roussette, G. Degallaix, R. Copin, Y. Berthier, *Analysis of tribological behaviour of pad-disc contact in railway braking Part 1. Laboratory test development, compromises between actual and simulated tribological triplets*, Wear, Elsevier Sciences, 2007, 582–591.
- Gopal, L.R. Dharani, F. D. Blum, *Hybrid phenolic friction composites containing Kevlar@ pulp*, Part I. Enhancement of friction and wear performance, Wear, 1996, 199-206.
- R. Yun, P. Filip, Y. Lu, *Performance and evaluation of eco-friendly brake friction materials*, Tribology International, Elsevier 2010.
- A. Ganguly and R. George, *Asbestos free friction composition for brake linings*, Bull. Mater. Sci., Vol. 31, No. 1, Indian Academy of Sciences, 2008, 19–22.
- M. Karina, H. Onggo, A.H.D. Abdullah, A. Syampurwadi, *Effects of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber on the Physical and Mechanical Properties of Fiber Glass Reinforced Polyester Resin*, Journal of Biological Sciences, 2008, 101-106.
- S. Shinoja, R. Visvanathanb, S. Panigrahic, M. Kochubabua, *Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review, Industrial Crops and Products*, Elsevier, 2011, 7-22.
- M. Jawaida, H.P.S. Abdul Khalil, A. Abu Bakar, *Mechanical performance of oil palm empty fruit bunches/jute fibres reinforced epoxy hybrid composites*, Materials Science and Engineering A, Elsevier, 2010, 7944–7949.
- C. Yang, C. Wen and Z. Houbin, *Study on Extension Engineering*, Extension Engineering Institute, Guangdong University of Technology, <http://web.gdut.edu.cn/~extenics/i065.htm>
- J. Wang, Extension Set Theory, *Extension Engineering Method and Extension System Control*, Academic Open Internet Journal, <http://www.acadjournal.com/2001/V5/part5/p1/>
- M. H. Wang, C. Y. Ho, *Application of Extension Theory to PD Pattern Recognition in High-Voltage Current Transformers*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 3, 2005.
- Technical Specification of Railway Composite Brake*, Indonesian Railway Company (PT. KAI) – Ganesha Engineering, PT., 2009.
- ASTM D1894 *Standard Test Method for Static and Kinetic Coefficients of Friction of Plastic Films and*

- Sheeting**, ASTM International, USA.
- [17] ASTM E18-08 **Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials**, ASTM International, USA.
- [18] ASTM D732 - 10 **Standard Test Method for Shear Strength of Plastics by Punch Tool**, ASTM International, USA.
- [19] ASTM D695 - 10 **Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics**, ASTM International, USA.
- [20] ASTM D790 - 10 **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**, ASTM International, USA.
- [21] ASTM D792 - 08 **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**, ASTM International, USA.