

REVIEW PAPER

Wear Mechanism of Glass Fiber Reinforced Epoxy Composites Under Dry Sliding Using Fuzzy Clustering Technique

V. Srinivasan, B. Asaithambi, G. Ganesan, R. Karthikeyan and K. Palanikumar



Disusun oleh:
Febrianto Amri Ristadi
10/ 306678/PTK/06912

PROGRAM STUDI S2 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN & INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA
2011

Review Paper:
Wear Mechanism of Glass Fiber Reinforced Epoxy Composites
Under Dry Sliding Using Fuzzy Clustering Technique

V. Srinivasan, B. Asaithambi, G. Ganesan, R. Karthikeyan and K. Palanikumar

Latar Belakang

Komposit digunakan sebagai alternatif untuk material permukaan yang saling bergeser yang membutuhkan koefisien gesek rendah dan ketahanan aus yang tinggi.

Komposit polimer dianggap lebih baik untuk aplikasi tribologi, misal: roda gigi, cam, bantalan, rem cakram pesawat, sendi pada prosthesis, dan sebagainya. Komposit memiliki kelebihan dibandingkan dengan material *steel*: Serat gelas memiliki sifat ringan, permukaan halus, umur pakai panjang, tahan korosi, tahan aus, tahan beban impact dan mampu bentuk yang baik.

Beberapa dasar teori dari penelitian terdahulu:

- Komposit dengan modulus yang lebih tinggi memiliki laju keausan dan koefisien gesek yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit dengan kekuatan yang lebih tinggi.
- Material resin yang getas seperti epoksi 3501-6 memiliki laju keausan lebih rendah dibandingkan material ulet seperti PEEK. Sifat ketahanan aus dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kekerasan menggunakan bahan aditif (*filler*).
- Ketahanan aus pada GFRP (*glass fiber reinforced plastic*) dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah pembebanan pada serat dan kerusakan serat.
- Laju keausan pada komposit lebih didominasi oleh mekanisme keausan yang berhubungan dengan serat daripada yang berhubungan dengan matriks.
- Mekanisme keausan diklasifikasikan menjadi: *ironing*, *ploughing*, *brittle fracture* dan *micro cutting*.

Metode Penelitian

A. Material

1. Komposit GFRP

- Resin epoksi dengan serat gelas tipe E-glass. Fraksi volume dari komposit adalah 30%.
- Orientasi dari serat gelas berupa biaxial dengan sudut 0 dan 90°
- Material komposit diproduksi oleh M/s.Meena Fiberglass Industry Puduchery, dengan metode *hand lay-up* dengan CaCO_3 sebagai *filler*.
- Serat gelas berupa serat pendek dengan diameter rata-rata 24 μm .
- Spesimen komposit dibuat dalam bentuk pin silindris dengan ukuran 12 x 9 x 9 mm dikerjakan dengan *Do-ALL machine* (semacam *machining centre*).

Beberapa karakteristik dari komposit GFRP disajikan dalam tabel berikut

Table 1. Properties of epoxy matrix E- glass fiber reinforced plastic.

Tensile strength – 382 N/mm ²	Thermal conductivity – 24.4 kcal/h/m ² /°C
Flexural strength – 468 N/mm ²	Flexural modulus – 22,489 N/mm ²
Flame resistance – good	Specific gravity – 1.8
Corrosion resistance – high	

2. Silinder Roller

- Dibuat dari material hardened Steel.
- Roller yang digunakan berdiameter 60 mm dengan ketebalan 12 mm.

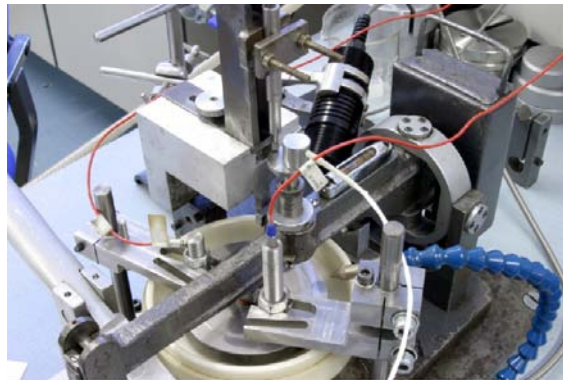
- Permukaan keliling dari silinder dipoles menggunakan kertas amplas (SiC) dengan grit 240.

Pin komposit dan roller dibersihkan menggunakan *acetone* dan dikeringkan terlebih dahulu sebelum pengujian.

B. Instrumen Penelitian

1. Pin on roller Wear Tester (M/s. Plint & Partners Ltd)

- Dilengkapi dengan cekam benda kerja dan *attachment* untuk pembacaan temperatur kontak
- Pin mempunyai dua derajat kebebasan, mampu mengukur gaya normal dan gaya gesek
- *Thermocouple attachment* pada daerah kontak dikalibrasikan sehingga millivolts dapat diubah ke derajat celcius.



2. Electronic Weighing Balance (Citizen CY-360)

- Kapasitas 360 gram
- Ketelitian 0,001 gram



3. Strain gage mengukur regangan dengan konversi dari millivolts menjadi gaya
4. Optical Microscope
5. Scanning Electron Microscope (SEM)
6. Perangkat lunak Matlab dengan toolbox FCM (fuzzy clustering means) yang digunakan untuk klasifikasi mekanisme keausan dari kelompok data dengan variabel yang diteliti.

Variabel Penelitian

Desain eksperimen dan pemilihan variabel menggunakan metode Taguchi.

1. Sliding velocity
Digunakan 3 nilai kecepatan geser yaitu 0.628, 1.570, and 2.512 m/detik
2. Gaya Normal
Digunakan 3 nilai gaya normal, yaitu sebesar 9.81, 14.71, dan 19.62 N

3. Kondisi Pengamatan

Eksperimen dikondisikan dengan beberapa langkah meliputi:

- Dry sliding, tanpa ada pelumasan antara kedua permukaan kontak
- Sliding time, waktu pengamatan selama 15 menit untuk setiap spesimen
- Iterasi dilakukan tiga kali untuk memperoleh rerata keluaran (laju keausan, temperatur dan koefisien gesek)
- Etsa permukaan spesimen menggunakan aseton untuk memperoleh tampilan yang jelas dari permukaan yang aus ketika dilakukan pemindaian menggunakan mikroskop.

Rumus dan Perhitungan

Untuk menentukan koefisien gesek (*coefficient of friction, CoF*) digunakan rumus

$$\mu = \frac{F}{R}$$

di mana F = Frictional Force

R = Normal Force

Gaya gesek dan gaya normal diukur menggunakan strain gage yang memberikan keluaran defleksi dalam millivolt untuk kemudian dikalibrasikan ke dalam besaran gaya menggunakan tabel konversi.

Laju keausan keausan didefinisikan sebagai volume material yang hilang tiap satuan waktu. Volume material yang hilang ditentukan dengan menimbang spesimen sebelum dan sesudah pengujian dengan menggunakan Electronic Weighing Balance. Sedangkan pembagi waktunya sesuai dengan waktu pengujian yaitu 15 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hubungan antara gesekan dengan gaya normal dan kecepatan geser

Menurut *first Law of Friction* gesekan berbanding lurus dengan gaya normal yang diaplikasikan, dan untuk material polimer hukum ini hanya berlaku untuk beberapa jenis polimer dengan kondisi pengujian tertentu. Umumnya koefisien gesek bernilai konstan untuk kontak polimer dengan permukaan baja untuk gaya antara 10-100 N. Figure 1 menunjukkan bahwa koefisien gesek justru berkurang dengan bertambahnya gaya normal, fenomena ini terjadi akibat adanya deformasi elastis dari permukaan *asperity*.

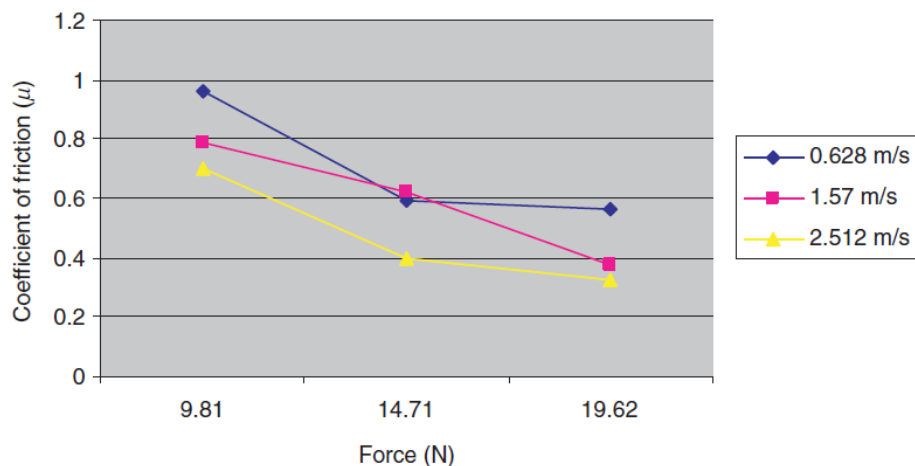


Figure 1. Friction dependence on force and sliding velocity.

Awalnya koefisien gesek naik sebanding dengan naiknya gaya normal sampai batas tertentu. Meningkatnya gaya normal menaikkan gaya gesek sehingga temperatur kontak naik. Kenaikan temperatur inilah yang mengakibatkan deformasi elastis. Sesuai Hukum Gesekan, kecepatan geser tidak mempengaruhi koefisien gesek. Namun pada kecepatan tinggi koefisien gesek akan naik. Fenomena ini hendaknya dipahami bahwa naiknya koefisien gesek adalah akibat naiknya temperatur karena meningkatnya kecepatan geser akan meningkatkan temperatur pada area kontak.

B. Hubungan antara temperatur dengan gaya normal dan kecepatan geser

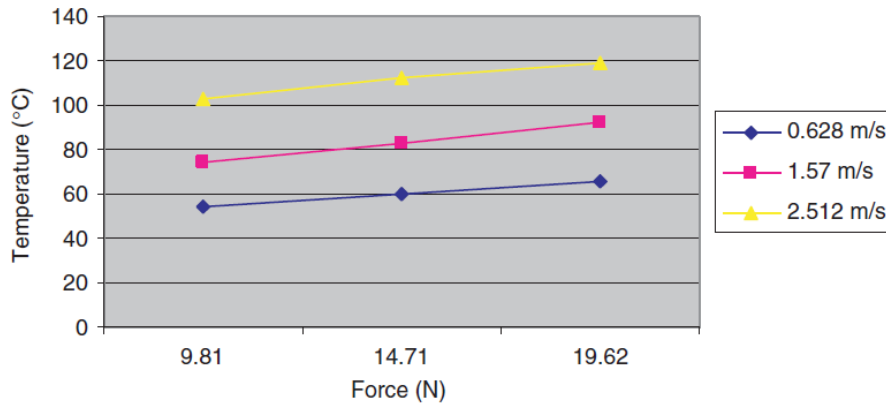


Figure 2. Temperature dependence on force and sliding velocity.

Figure 2 menunjukkan grafik hubungan temperatur dengan gaya normal dan kecepatan geser untuk kontak tanpa pelumasan. Meningkatnya normal force dan sliding velocity meningkatkan temperature pada area kontak. Ini menunjukkan bahwa *frictional heating* memiliki kecenderungan naik seiring dengan naiknya gaya dan kecepatan.

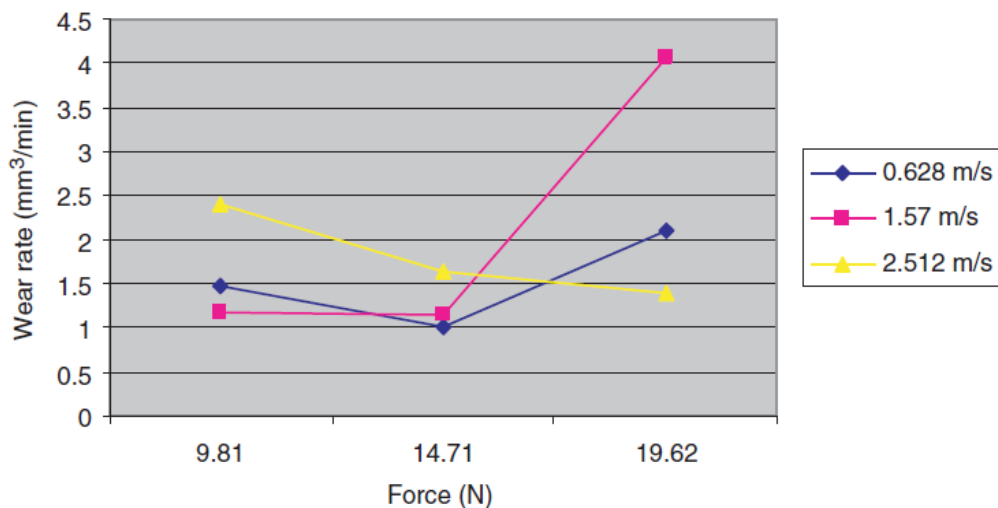


Figure 3. Wear rate dependence on force and velocity.

Pada beban 10 N, wear min =1.570 m/s and wear max = 2.512 m/s. Gaya dinaikkan hingga 14,71 N wear rate turun akibat *plastic deformation* Wear rate naik dari 14,71 N ke 19.62 N akibat *ploughing mechanism*. Untuk kecepatan sliding 2,512 m/s wear rate turun akibat sedikitnya waktu kontak.

Naiknya normal load mengakibatkan kerusakan pada ikatan antara serat dan matriks, sehingga timbul *fracture* dan debris yang menaikkan laju keausan.

C. Peta Transisi Keausan menggunakan Fuzzy Clustering

Fuzzy Clustering dan *toolbox* untuk analisis data merupakan fasilitas yang terdapat pada Matlab. Fungsinya adalah untuk membagi kelompok menjadi sub-kelompok (disebut *cluster*), *hard and fuzzy partition* berarti transisi yang terjadi antar sub-kelompok terlihat jelas dan gradual. Fungsi algoritma dalam FCM memerlukan tiga parameter masukan: *param:c* yaitu jumlah *cluster* atau matriks partisi; *Para* sebagai *weighting exponent* dan *param:e* sebagai toleransi maksimum untuk memberhentikan perhitungan. Figure 4 menunjukkan hasil pemetaan yang digambarkan menggunakan algoritma Fuzzy C means. Berdasarkan bentuk kontur peta laju keausan, peta transisi keausan dapat dibuat.

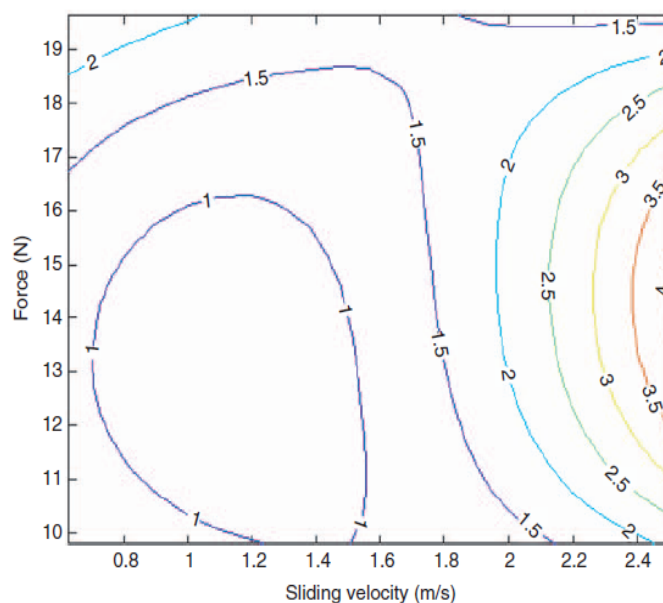


Figure 4. Wear rate map.

Klasifikasi kontur berdasarkan *wear rate*:

Mild wear : 0 s/d 1 mm³/min

Severe wear : 1 s/d 2 mm³/min

Ultra severe wear : 2 s/d 4 mm³/min

Klasifikasi tidak berdasarkan angka numerik, namun berdasarkan observasi mengenai peningkatan kondisi pembebanan. Peta transisi keausan dapat dilihat pada Figure 5, dengan menghilangkan laju keausan di luar nilai batas klasifikasi.

D. Klasifikasi Laju Keausan menggunakan SEM

Untuk jenis dan kondisi pengujian pada penelitian ini mekanisme keausan yang terjadi adalah kombinasi dari *adhesive* dan *abrasive wear* dan ditemui juga sedikit *hydrodynamic lubrication*.

Terdapat 4 mekanisme keausan untuk kondisi yang ditinjau (dipilih yang dominan):

- *Ironing*
- *Ploughing*
- *Fiber fracture*
- *Micro cutting*

Dapat muncul lebih dari satu jenis mekanisme keausan pada spesimen.

Ironing

Merupakan kerusakan yang tidak begitu parah (*severe*), ditemukan pada kondisi kecepatan rendah dan beban rendah. Secara fisik tidak tampak deformasi permanen hanya efek permukaan yang halus akibat deformasi permukaan *asperities*.

Ploughing

Terjadi *matrix debonding* dari komposisinya. Kerusakan matriks ditunjukkan dengan retak arah longitudinal akibat mekanisme *ploughing* berulang yang menyebabkan fatik pada permukaan. Mekanisme ini muncul pada kecepatan dan beban sedang (mengikuti *ironing*). Mekanisme ini terletak pada zona *severe wear regime*. Kerusakan akibat *ploughing* dapat dicegah dengan pemilihan material pengikat yang lebih baik dan meningkatkan *volume fraction* dari serat.

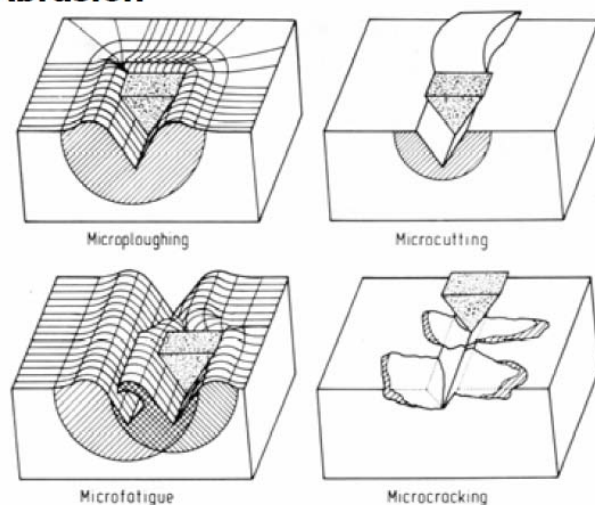
Fiber fracture

CFRP E-Glass merupakan material yang terkenal mudah terjadi patah-getas. Terdapat dua jenis patah serat: bending pada serat dan gaya geser yang menyebabkan patah pada serat. Muncul pada beban sedang dan kecepatan tinggi. Predominan pada *ultra severe wear regime*.

Micro cutting

Ditandai dengan terbentuk chip sehingga kerusakan aus ini sering disebut machining. Ketika proporsi material yang mengalami deformasi plastis *micro cutting*, merupakan kerusakan lanjutan dari fiber fracture karena pembebanan pada permukaan fiber yang patah akibat gaya geser selama roller sliding di atasnya. Dominan pada extreme dan *ultra severe wear*.

Abrasion



Gambar skematis mekanisme keausan secara umum

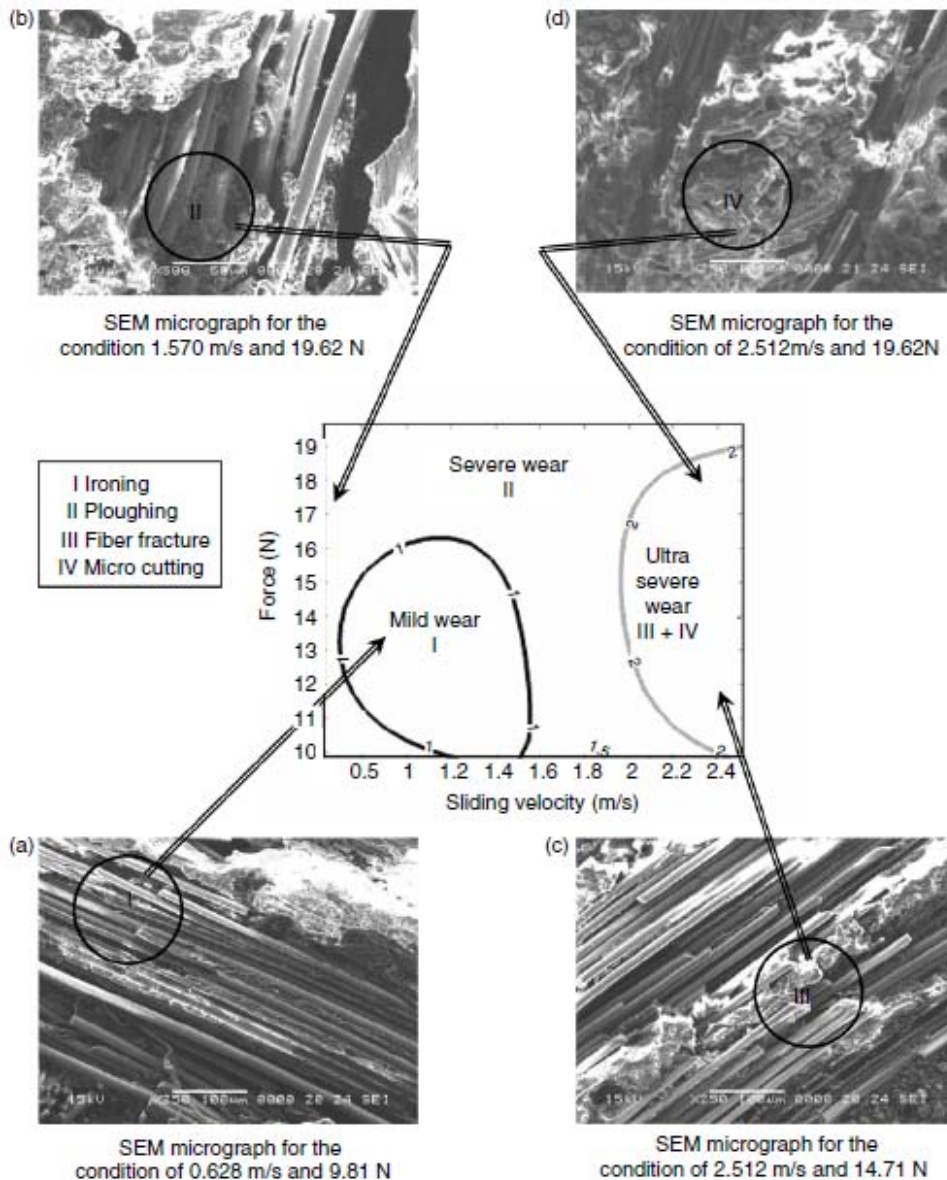


Figure 5. Wear transition map.

Kesimpulan

- Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat sangat dipengaruhi oleh beban dan kecepatan sliding yang tinggi pada regime severe wear dan ultra-severe wear.
- Pada kondisi pembebanan berlebih, kerusakan serat dan micro-cutting dipengaruhi oleh temperature akibat thermal softening dan tingginya shear deformation.
- Laju keausan maksimum dari spesimen adalah pada saat terjadi micro-cutting dan minimum pada saat terjadi ironing.
- Tidak ada mekanisme keausan yang berlaku universal dan tidak ada hubungan sederhana dari laju keausan, mekanisme keausan, temperatur dan koefisien gesek. Pada nilai yang tinggi, laju keausan meningkat seiring dengan temperatur, sedangkan koefisien gesek menunjukkan kecenderungan menurun
- Laju keausan peta transisi keausan untuk komposit epoksi dapat bervariasi tergantung dari volume fraction dari serat, arah serat, dan kondisi sliding yang berbeda-beda.