PEMODELAN STATISTIK MEKANISME KEAUSAN ABRASI

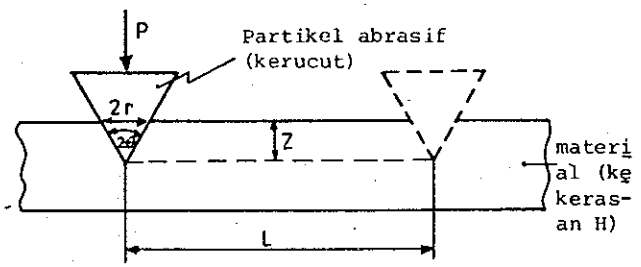
Oleh :
Satryo Soemantri*

RINGKASAN

Analisis mekanisme keausan abrasi untuk kondisi keausan abrasi two-body dilakukan dengan memperhatikan distribusi statistik ukuran partikel abrasif. Hasil analisis menunjukkan bahwa pengaruh beban, jarak kontak dan kekerasan material terhadap keausan mendekati hasil analisis yang dilakukan oleh peneliti lain yang didasarkan atas model partikel tunggal. Dalam analisis mekanisme keausan abrasi tersebut, dibahas pula beberapa perkiraan kuantitatif mengenai pengaruh ukuran partikel abrasif terhadap laju keausan.

1. Pendahuluan

Keausan abrasi adalah proses keausan akibat terjadinya kontak dan gerak relatif antara material dengan partikel keras. Model mekanisme keausan abrasi yang dikenal sampai saat ini adalah model partikel tunggal. Dalam model tersebut diasumsikan bahwa kontak terjadi antara material dengan satu partikel abrasif. Selanjutnya partikel abrasif tersebut dimodelkan sebagai suatu kerucut. Model partikel tunggal tersebut secara skematis ditunjukkan pada gambar 1.Dalam gambar tersebut terlihat bahwa partikel



Gambar 1. Model Partikel Kerucut Tunggal

abrasif melakukan penetrasi terhadap material akibat adanya beban P. Jika partikel tersebut bergerak sejauh L maka volume material yang mengalami deformasi dapat diperkirakan yaitu

$$V = rzL \qquad (1)$$

Dengan menggunakan hubungan

$$r = z \tan\theta \qquad (2)$$

$$H = \frac{P}{\pi r^2} \qquad (3)$$

maka dapat diperoleh hubungan

$$V = \frac{\cot\theta}{\pi}\,\frac{PL}{H} \qquad (4)$$

Dalam proses keausan abrasi, sebagian dari material yang mengalami deformasi akan lepas dari permukaan sebagai geram atau partikel aus. Besarnya volume keausan abrasif adalah :

$$V_{aus} = fV = f\,\frac{\cot\theta}{\pi}\,\frac{PL}{H} = fk\,\frac{PL}{H} \qquad (5)$$

dengan f = perbandingan antara volume material yang terlepas dan volume material yang terdeformasi.
k = konstanta

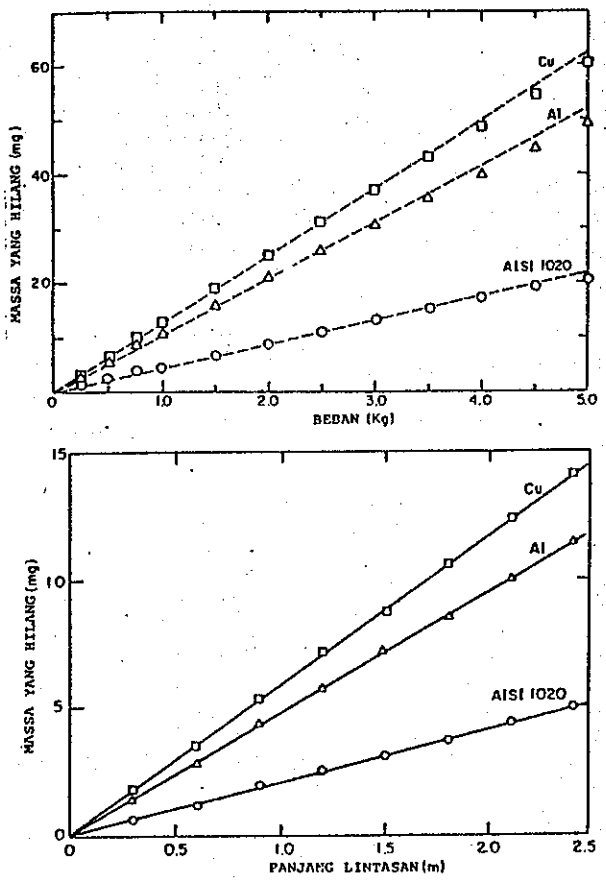
Persamaan (5) menunjukkan bahwa volume keausan abrasi berbanding lurus dengan beban dan jarak serta berbanding terbalik dengan kekerasan material. Hasil pengamatan beberapa peneliti [1,2] menunjukkan bahwa hubungan antara volume keausan dengan beban, jarak dan kekerasan material adalah seperti pada persamaan (5). Gambar 2 menunjukkan beberapa hasil pengamatan tersebut.
Dengan demikian maka model partikel kerucut tunggal dapat menjelaskan mekanisme yang terjadi pada proses keausan abrasi.

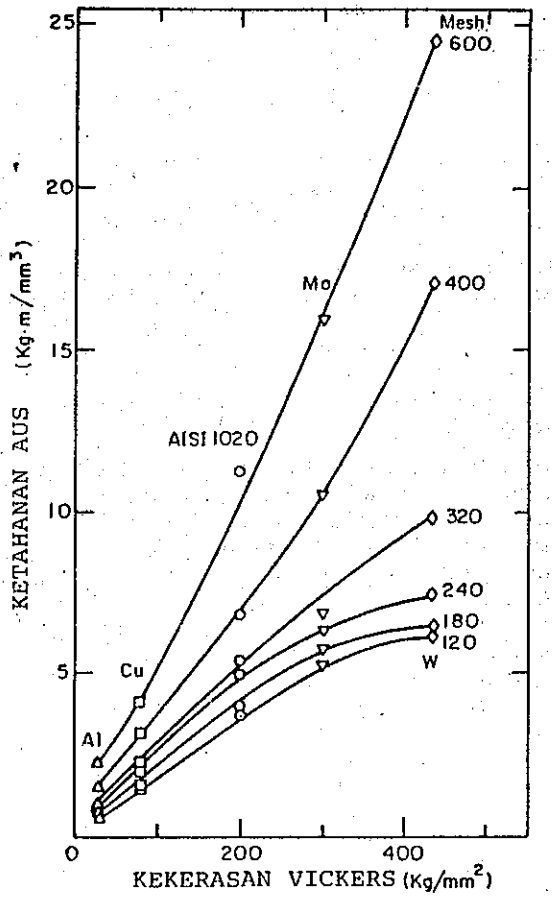
* Jurusan Mesin ITB

Dalam kenyataannya, keausan abrasi terjadi akibat kontak antara material dengan permukaan kasar ataupun dengan sekumpulan partikel abrasif. Sehingga kontak antara material dengan beberapa partikel abrasif dan kontak tersebut terjadi secara simultan. Oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi terhadap model mekanisme keausan abrasi dengan memasukkan faktor kontak simultan tersebut. Untuk proses keausan gesek (sliding wear), dengan dua permukaan datar nominal saling bergesekan, model mekanisme nya telah dikembangkan oleh Halling [3]. Dalam pemodelan tersebut diperhatikan adanya distribusi tinggi puncak tiap permukaan dan distribusi tersebut diasumsikan sebagai fungsi eksponensial.

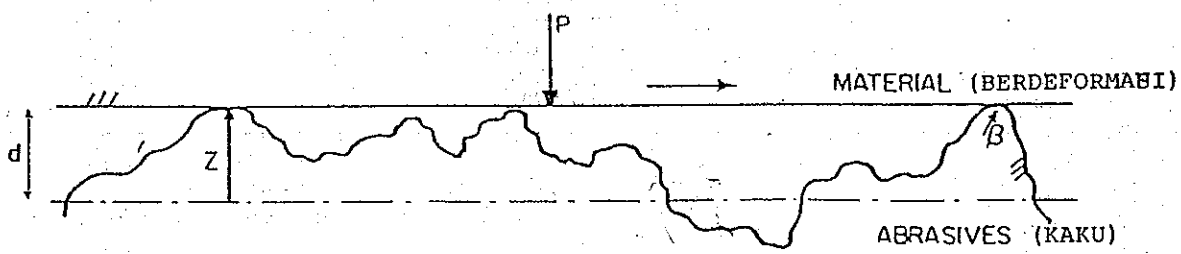
2. Model Keausan Abrasi

Seperti telah dijelaskan sebelum nya bahwa keausan abrasi terjadi jika material berkontak dan bergerak relatif terhadap permukaan kasar maupun terhadap sekumpulan partikel abrasif. Gambar 3 menunjukkan interaksi antara permukaan material dengan partikel-partikel abrasif. Jarak antara permukaan material dengan bidang referensi partikel abrasif adalah d.Dalam pembahasan ini diasumsikan bahwa permukaan material jauh lebih rata dibandingkan dengan permukaan kumpulan partikel abrasif,dan juga bahwa puncak-puncak partikel abrasif dianggap sebagai separuh bola dengan jari-jari yang sama, β . Tinggi puncak permukaan dinyatakan





Gambar 2. Keausan sebagai fungsi beban, jarak gesekan dan kekerasan material [1]



Gambar 3. Interaksi antara permukaan material dengan partikel-partikel abrasif.

dengan z. Asumsi-asumsi serupa juga diterapkan oleh Vaidyanathan dan Finnie [4] dalam menganalisa laju pengikisan material pada proses gerinda untuk material getas.

Jika satu deret partikel dengan distribusi tinggi puncak $\phi(z)$ bergesekan dengan permukaan material seperti ditunjukkan pada gambar 1, maka penetrasi yang dilakukan oleh puncak partikel terhadap material adalah

$$\delta = z - d$$

dan jari-jari bidang kontak adalah

$$a = (2\beta\delta - \delta^2)^{\frac{1}{2}}$$

Dengan asumsi bahwa orde besaran δ sama dengan orde besaran β, maka

$$a = (\beta\delta)^{\frac{1}{2}}$$

Luas bidang kontak

$$A = \pi a^2 = \pi\beta\delta = \pi\beta(z-d)$$

Dengan menggunakan hubungan $H = \frac{P}{A}$, maka persamaan beban dapat dituliskan sebagai

$$P = \pi H\beta(z-d)$$

H adalah ketahanan material terhadap indentasi.

Persamaan tersebut di atas berlaku untuk kasus material yang berkontak dengan satu partikel abrasif. Jika lebih dari satu partikel berkontak dengan material, maka perlu diperhatikan probabilitas terjadinya kontak antara puncak partikel abrasif yang mempunyai tinggi z dengan permukaan material. Dengan menggunakan fungsi probabilitas tinggi puncak partikel $\phi(z)$, maka

$$P = \pi HN\beta \int_d^\infty (z-d)\ \phi(z)\ dz$$

N adalah jumlah total puncak partikel. Dalam bentuk standar,

$$P = \pi HN\beta \int_h^\infty (s-h)\ \phi^*(s)\ ds \qquad (6)$$

dengan $s = z/\sigma$, $h = d/\sigma$ dan σ = deviasi standar tinggi puncak partikel.

Untuk memperoleh persamaan untuk volume yang hilang pada proses keausan abrasi, perlu ditinjau terlebih dahulu volume yang hilang akibat kontak antara satu partikel dengan permukaan. Besarnya volume yang hilang untuk kontak satu partikel dapat didekati dengan persamaan

$$v = faL\delta = f\beta^{\frac{1}{2}}\delta^{\frac{3}{2}}\ L$$

f adalah perbandingan antara volume material yang hilang terhadap volume material yang terdeformasi, seperti telah dijelaskan sebelumnya. L adalah jarak gerak relatif antara partikel dengan permukaan. Untuk memperoleh volume total material yang hilang, maka persamaan di atas diintegrasi,

$$V = \int_h^\infty v\phi^*(s)\ ds$$

$$V = LfN\beta^{\frac{1}{2}}\sigma^{\frac{3}{2}} \int_h^\infty (s-h)^{\frac{3}{2}}\ \phi^*(s)\ ds \qquad (7)$$

Dalam melakukan analisis terhadap persamaan (6) dan persamaan (7), perlu diketahui bentuk fungsi distribusi tinggi puncak partikel abrasif. Salah satu pendekatan, seperti yang dilakukan oleh Greenwood dan Williamson [5] dalam studi tentang kontak antar permukaan, diasumsikan bahwa bentuk fungsi distribusinya adalah fungsi eksponensial. Sehingga

$$\phi^*(s) = e^{-s}$$

Dengan memasukkan distribusi eksponensial tersebut ke persamaan (6) dan (7) serta mengkombinasikan kedua persamaan tersebut maka diperoleh

$$V = \frac{\frac{3}{2}!}{\pi}\left[\frac{\sigma}{\beta}\right]^{\frac{1}{2}} \frac{fPL}{H} = \frac{k'fPL}{H} \qquad (8)$$

Persamaan (8) mempunyai bentuk yang sama dengan persamaan (5) yang diperoleh dari model partikel kerucut tunggal. Perbedaan antara kedua persamaan tersebut terletak pada harga konstanta k dan k'.

Dari kedua persamaan (5) dan (8) terlihat bahwa hubungan antara V dengan L adalah linear dan hal ini cukup jelas dimengerti. Hubungan linear antara V dengan P dan dengan 1/H pada persamaan (8) terjadi karena asumsi distribusi eksponensial. Asumsi tersebut ternyata memberikan hasil perkiraan yang sesuai dengan pengamatan hasil percobaan. Kedua persamaan (5) dan (8) menunjukkan bahwa hubungan antara V dengan P dan dengan 1/H adalah linear. Pada persamaan (5) hubungan linear tersebut terjadi karena partikel dimodelkan sebagai kerucut. Seandainya model partikelnya tidak kerucut, maka hubungan antara V dengan P dan dengan 1/H tidak linear. Pada persamaan (8) hubungan linear tersebut tetap terjadi untuk tiap bentuk model partikel.

3. Analisis Kuantitatif

Untuk perbandingan antara kedua model mekanisme keausan abrasi tersebut,

maka k dan k' pada persamaan (5) dan (8) perlu dibandingkan. Harga sudut θ, yang juga merupakan separuh sudut lingkup puncak partikel abrasif, telah diamati oleh Kaczmarek [6] sebesar kurang lebih 50° untuk kebanyakan partikel abrasif. Sehingga harga k dapat diperkirakan yaitu sebesar 0,27. Untuk dapat menghitung harga k', harga σ dan β perlu diketahui. Harga β dapat diperoleh dari hasil pengamatan Kaczmarek [6] dan merupakan fungsi ukuran partikel abrasif. Deviasi standar ukuran partikel abrasif diperkirakan dengan menggunakan data FEPA-Standard 42-GB-1984 [7]. Gambar 4 menunjukkan salah satu distribusi ukuran partikel abrasif. Deviasi standar diperoleh dari hubungan

$$\sigma = \left[\sum_n (D - D_{rata\text{-}rata})^2 \, n(d) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Tabel 1 menunjukkan perkiraan harga β, σ dan k' untuk beberapa ukuran partikel.

Tabel 1. Harga β, σ dan k'

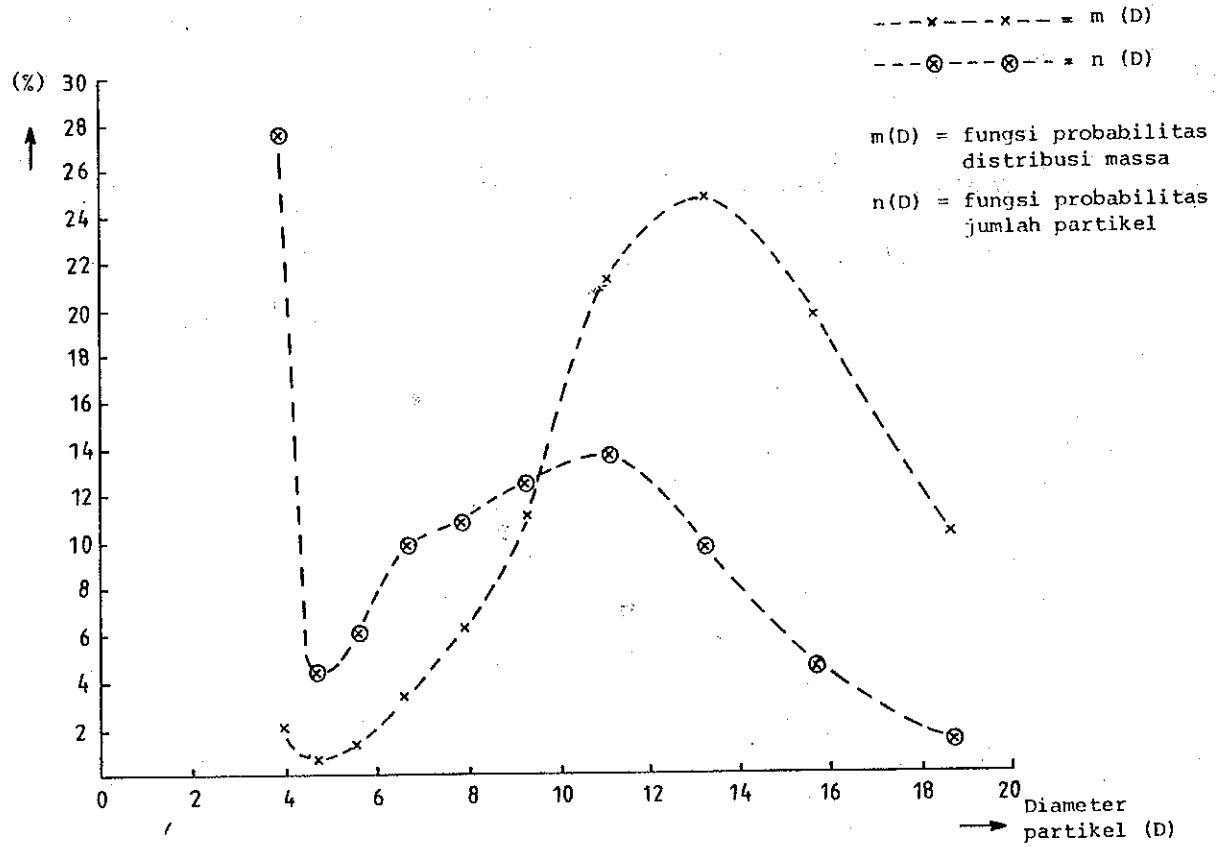
Ukuran Partikel (μm)	β (μm)	σ (μm)	k'
90	5,5	30,34	0,99
63	4,2	21,24	0,94
52,2	3,8	17,6	0,9

Untuk dapat membandingkan k' dengan hasil eksperimen, perlu diketahui lebih dahulu harga f. Persamaan (8) seringkali dituliskan dalam bentuk laju keausan yaitu volume yang hilang persatuan beban persatuan jarak.

$$\text{laju keausan} = \frac{V}{PL} = \frac{k'f}{H}$$

$$\text{ketahanan aus} = \frac{H}{k'f}$$

Harga empiris k'f untuk keausan abrasi logam telah diperoleh Misra dan Finnie [1] sebesar 0,0633. Harga tersebut di-



Gambar 4. Distribusi ukuran partikel abrasif dengan diameter rata-rata 13 μm. Data diperoleh dari referensi [7]

peroleh dengan mengetahui kemiringan kurva antara ketahanan aus dengan kekerasan material. Pada proses abrasi, permukaan material mengalami strain hardening sehingga kekerasan permukaan material tersebut lebih tinggi daripada kekerasan bagian permukaan material lainnya. Menurut Richardson [2] kekerasan permukaan material yang telah aus kurang lebih empat kali kekerasan material dalam keadaan annealed. Dengan menggunakan harga kekerasan permukaan aus tersebut, maka harga empiris k'f menjadi empat kali lebih besar yaitu 0,25. Harga f kemudian dapat diperkirakan dengan menggunakan data Tabel 1 untuk harga k', dan besarnya adalah 0,26. Jika f diperkirakan dengan menggunakan harga k (yaitu untuk model partikel kerucut tunggal), maka f adalah 0,93. Harga f = 0,93 berarti bahwa hampir seluruh material yang terdeformasi akan hilang atau lepas dari permukaan. Untuk material yang ulet seperti halnya Alumunium, Tembaga dan sebagainya maka umumnya f kecil, karena volume material yang mengalami deformasi plastis sangat dominan dibandingkan dengan volume material yang hilang. Sehingga perkiraan f = 0,93 untuk material ulet kurang realistis.

4. Mekanisme Pemotongan dan Deformasi Plastis

Dalam proses keausan abrasi terjadi dua proses yang terjadi secara simultan yaitu deformasi plastis dan pemotongan material. Proses pemotongan menghasilkan geram sehingga material akan terlepas dari permukaan. Deformasi plastis menyebabkan material berubah bentuk tanpa adanya material yang hilang. Jika proses pemotongan dominan maka harga f besar, sedangkan jika deformasi plastis dominan maka harga f kecil.

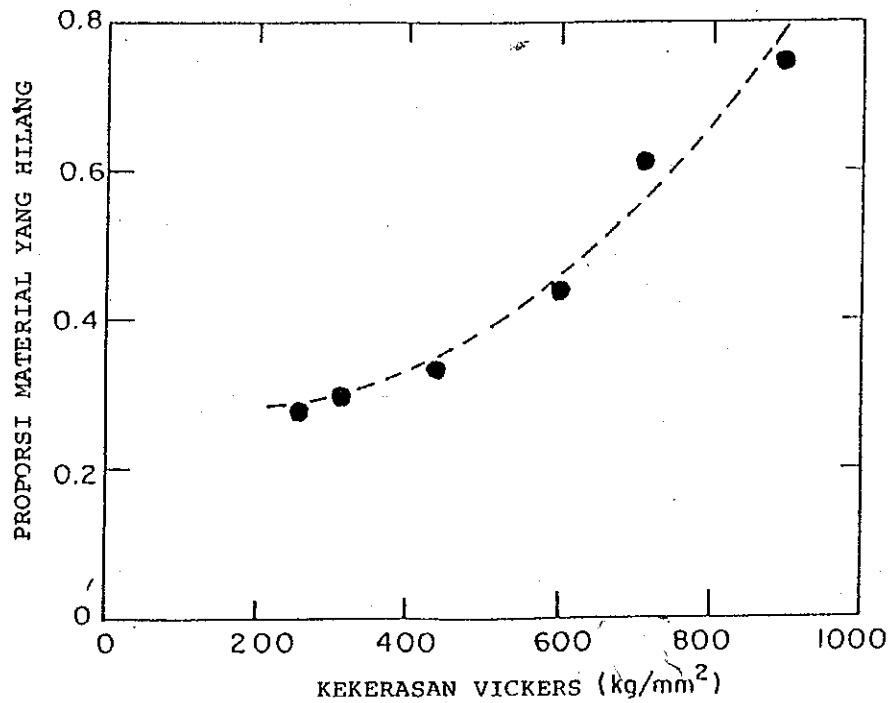
Salah satu cara memperkirakan harga f adalah dengan melakukan proses penggoresan (scratching). Hasil pengamatan Buttery dan Archard [8] menunjukkan bahwa f bertambah jika kekerasan baja bertambah, seperti ditunjukkan pada gambar 5. Pengamatan yang serupa juga dilakukan oleh Zum Gahr dan Mewes [9] untuk beberapa macam material seperti ditunjukkan pada gambar 6. Pada pengamatan tersebut di atas, perkiraan f dilakukan berdasarkan konfigurasi seperti tercantum pada gambar 7. Sehingga

$$f = \frac{A_3 - (A_1 + A_2)}{A_3}$$

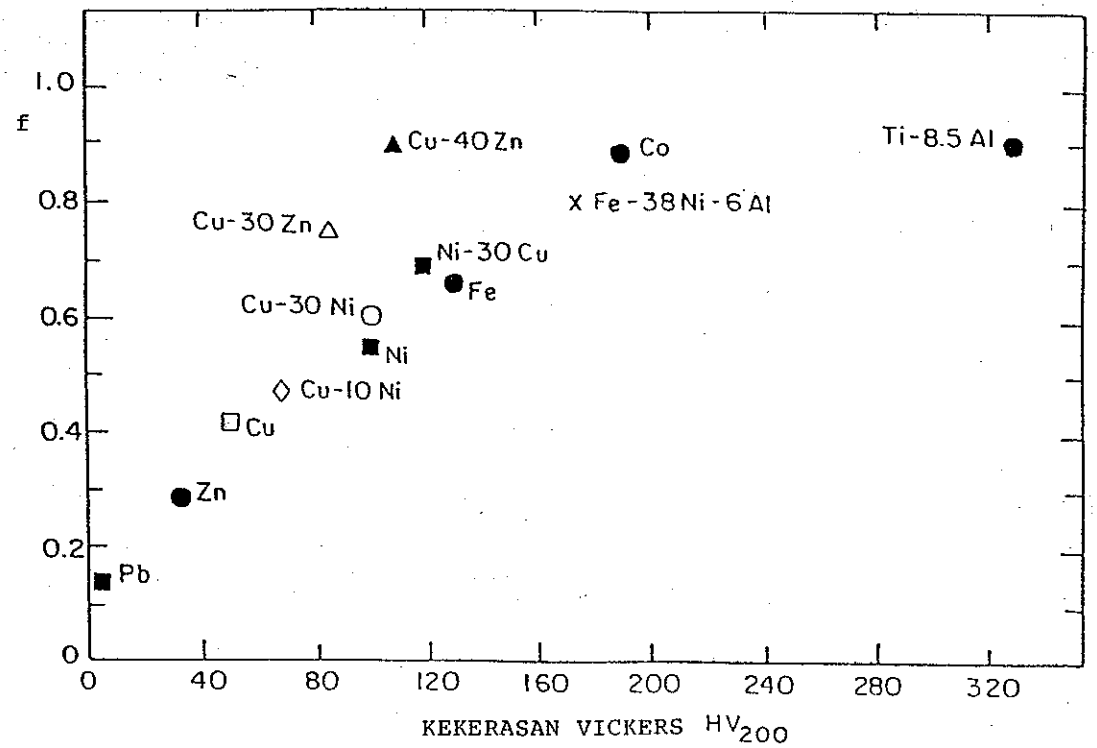
dengan A_1, A_2, A_3 adalah luas penampang seperti terlihat pada gambar. Dengan demikian proses pemotongan lebih dominan pada material keras dan getas, sedangkan deformasi plastis lebih dominan pada material ulet.

5. Kesimpulan

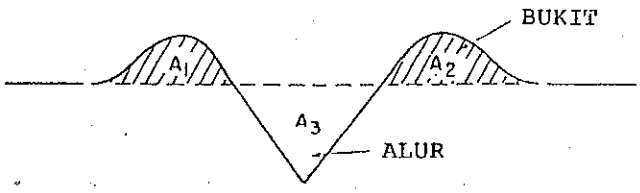
Pemodelan statistik mekanisme keausan abrasi memberikan hubungan yang linear antara volume yang hilang dengan



Gambar 5. Perbandingan antara material yang hilang dengan material yang terdeformasi sebagai fungsi kekerasan baja karbon 1 %. Penggoresan dilakukan dengan Rockwell Indenter [8]



Gambar 6. Harga f sebagai fungsi kekerasan material. Penggoresan dilakukan dengan Diamond Indenter [9]



Gambar 7. Penampang skematis material hasil proses penggoresan

beban; jarak dan menunjukkan bahwa volume yang hilang berbanding lurus terbalik dengan kekerasan material. Hubungan tersebut sesuai dengan hasil pengamatan dan juga sesuai dengan hasil pemodelan partikel tunggal. Bahwa hasil pemodelan partikel tunggal juga memberikan hubungan liniear tersebut di atas adalah akibat idealisasi partikel abrasif sebagai suatu kerucut. Pemodelan partikel tunggal tidak dapat diterapkan jika partikel abrasif diidealisasikan sebagai bentuk lain misalnya bola, silinder dan sebagainya.

Pemodelan statistik ini juga memberikan perkiraan yang lebih tepat terhadap koefisien keausan abrasi.

Daftar Pustaka

1. Misra, A., and Finnie, I., "Some Observations on Two Body Abrasive Wear, " Wear, Vol.68, 1981, pp. 41-56.
2. Richardson,R.C.D., "The Maximum Hardness of Strained Surfaces and the Abrasive Wear of Metals and Alloys," Wear, Vol.10, 1967, pp. 353-382.
3. Halling, J., "Toward a Mechanical Wear Equation, "Journal of Lubrication Technology, Trans.ASME, Vol.105, April 1983, pp. 212-220.
4. Vaidyanathan, S., and Finnie, I.,"The Grinding of Brittle Solids, " New Developments in Grinding, Proceedings of The International Grinding Confe - rence, Pitsburgh, Pennsylvania, April 18-20, 1972, pp. 813-831.
5. Greenwood, J.A., and Williamson,J.B.P. "Contact of Nominally Flat Surfaces, "Proc. Roy. Soc., Vol 295 A, 1966, pp. 300-319.
6. Kaczmarek, J., Principles of Machining by Cutting, Abrasion and Erosion, Peter Peregrinus Limited, Stevenage, Warsaw, 1976.
7. FEPA-Standard 42-GB-1984, The British Abrasive Federation, P.O. Box 58, Trafford Park, Manchester, England.

8. Buttery, T.C. , and Archard, J.F. "Grinding and Abrasive Wear," Proceedings of the instution of Mechanical Engineers, Vol. 185, 1970-1971, pp. 537-551.

9. Zum Gahr, K.H., and Mewes, D., "Severity of Material Removal in Abrasive Wear of Ductile Materials, "Wear of Materials 1983, Proceedings of the International Conference on Wear of Materials, Reston, Virginia, April 11-14, 1983,ASME New York, 1983, pp. 130-139.

DEPARTEMEN PERTAMBANGAN DAN ENERGI

PERUSAHAAN UMUM GAS NEGARA

KANTOR PUSAT

Jalan : M.I. Ridwan Rais No. 2, Jakarta, Kotak Pos No. 119 Jkt.
Telp. : 374809 (5 saluran), Telex : 45764 GASMI IA, Cable : GAS PUSAT

PERUM GAS NEGARA SIAP MELAYANI KEBUTUHAN BAHAN BAKAR GAS (GAS BUMI & GAS BUATAN) UNTUK :

- INDUSTRI (Industri Kimia, Gelas, Tekstil, Logam, dll.)
- KOMERSIAL (Industri Pariwisata, Perhotelan, Rumah Makan, Perkantoran dll.)
- RUMAH TANGGA.

CABANG – CABANG :	GAS BUMI.	GAS BUATAN.
	– PGN MEDAN	– PGN BANDUNG
	– PGN JAKARTA	– PGN SEMARANG
	– PGN BOGOR	– PGN SURABAYA
	– PGN CIREBON	– PGN UJUNG PANDANG