

I Gusti Ketut Puja<sup>1</sup>, Mudjijana<sup>2</sup>

ABSTRACT

*Metal spraying of nickel alloys powder has been used for reconditioning of a steel cast bearing block at the PJKA Yogyakarta. Its physical and mechanical properties the metal spraying product was investigated.*

*The result of the research shows that the steel cast base metal changes to coarse pearlite after reconditioning by metal spraying. Wear resistance of metal spray film of 1,317 mm average thick is reasonably better than the base metal.*

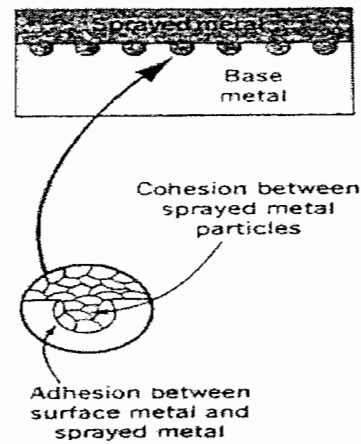
PENDAHULUAN

Rumah bantalan kotak roda gigi transmisi roda Kereta Api sering terjadi keausan disebabkan oleh pemakaian yang terus menerus dengan beban berat dan dinamis.

Perlindungan permukaan logam terhadap keausan dapat dilakukan dengan *electroplating, anodizing, difusion, metal spraying, hard facing* dan *selective heat treatment*. Salah satu cara yang digunakan untuk melapis permukaan logam yang aus pada rumah bantalan di PJKA Yogyakarta adalah *metal spraying*. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis sifat fisis dan mekanis lapisan *metal spraying* pada bahan dudukan bantalan baja cor sebagai dasar dalam merekondisi rumah dudukan bantalan yang rusak.

TINJAUAN PUSTAKA

*Metal spraying* merupakan proses pelapisan permukaan logam dengan menggunakan serbuk logam. Serbuk logam tersebut diumpankan ke dalam panas api oksidasi asetelin dan setelah mencair kemudian disemprotkan oleh *aspirating gas* berkecepatan tinggi untuk dapat melekat pada permukaan benda kerja (Moore dan Kibbey, 1992). Cara *metal spraying* demikian ini dinamakan *thermospray* (Little, 1977). Ikatan logam yang terjadi pada *metal spraying* pada dasarnya bersifat mekanis. Adesi dan kohesi terjadi seperti ditunjukkan pada gambar 1. Adesi bola-bola logam yang disemprotkan terjadi ketika partikel-partikel atom yang diatomisasi terdorong ke dalam retakan atau celah suatu permukaan yang disiapkan dengan tepat. Kohesi terjadi karena adanya partikel logam cair berfusi ke dalam permukaan *base metal* yang telah disiapkan.



Gambar 1. Skema ikatan permukaan *metal spraying*

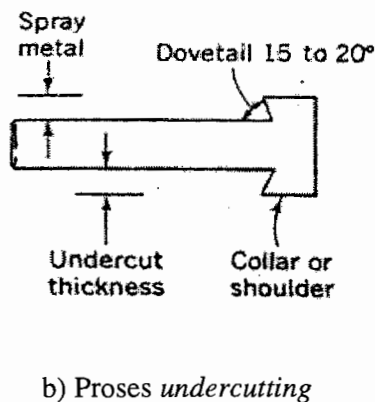
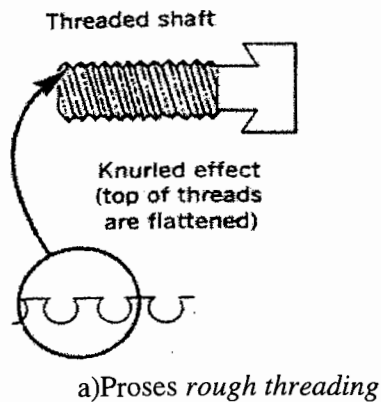
Persiapan permukaan merupakan langkah penting dan sangat menentukan keberhasilan proses *metal spraying*. Tujuan dari persiapan permukaan adalah (a) membuang semua kotoran pada permukaan *base metal*, (b) membuang produk korosi yang terbentuk pada permukaan, (c) mengatur karakteristik fisik permukaan (Trethewey dan Chamberlain, 1991).

Beberapa proses persiapan permukaan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas ikatan antara *metal* yang disemprotkan dengan *base metal* adalah *undercutting, rough threading, grit blasting, studding*, dan *sanding* atau penggerindaan (Little, 1977). Persiapan permukaan ini harus mendapatkan kekasaran permukaan yang homogen dan durasi antara proses persiapan dan proses *metal spraying* sesingkat mungkin untuk mencegah *base metal* mengalami oksidasi kembali (Trethewey dan Chamberlain, 1991). Gambar 2a dan 2b memperlihatkan hasil proses persiapan permukaan dengan menggunakan proses

<sup>1</sup> Alumni Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

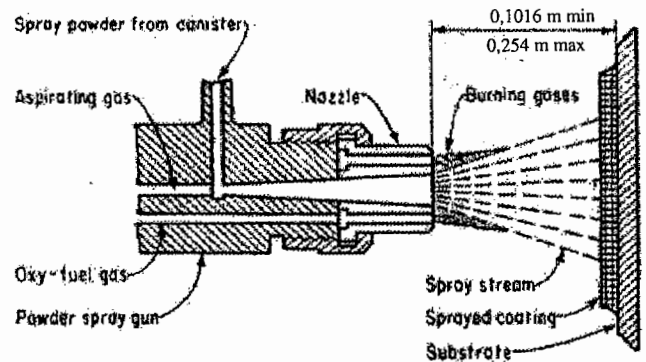
rough threading dan proses undercutting (Little, 1977).



Gambar 2. Skema hasil proses persiapan permukaan

*Thermospray* merupakan salah satu *metal spraying* yang menggunakan serbuk *metal* sebagai material yang dilapiskan pada *base metal*. Skema penyemprot serbuk metal dengan cara *thermospray* ditunjukkan pada gambar 3 (Avner, 1974). Jarak semprot berkisar antara 0,1016 m sampai 0,254 m. Pada jarak ini sekitar 95% serbuk *metal* yang disemprotkan akan mengenai *base metal* (Little, 1977).

Ukuran partikel serbuk *metal* yang digunakan dalam proses *thermospray* berkisar antara 100 sampai 150 mesh. Temperatur fusi partikel serbuk *metal* dalam proses *thermospray* dikelompokkan menjadi 3. Kelompok partikel pertama berfusi pada temperatur 1800 - 2500 °F dan terdiri dari paduan nikel-silikon-boron atau nikel-krom-silikon-boron. Kelompok kedua berfusi pada temperatur 1920 - 2080 °F dan terdiri dari paduan kobalt-krom-silikon-boron. Kelompok ketiga berfusi pada temperatur 1950 - 2050 °F dan merupakan paduan karbida-tungsten. Berbagai bahan ini dapat diterapkan pada hampir semua besi, nikel, tembaga, dan tembaga paduan.

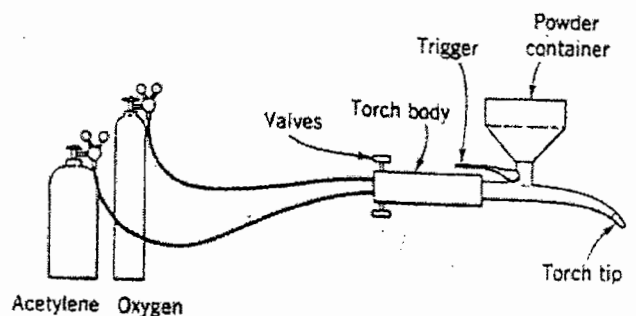


Gambar 3. Skema penyemprot serbuk logam dengan *thermospray*

Proses fusi biasanya dilakukan dengan oksidasi dengan memakai nyala api netral atau *reducing flame*. Panas diberikan terlebih dahulu pada daerah yang akan disemprot sampai daerah tersebut menjadi merah bara. Kemudian *torch* dipindahkan dengan perlahan menuju ke permukaan yang akan disemprot sampai terfusi atau terlebur (Little, 1977). *Thermospray* yang disertai dengan proses fusi juga disebut proses *spray/fusion deposition*. Proses ini menghasilkan ikatan metalurgi antara *base metal* dan lapisan *metal* (Neale, 1973).

#### CARA PENELITIAN

Bahan dudukan bantalan baja cor dengan komposisi kimianya disajikan pada tabel I, sedangkan sifat-sifat mekanik disajikan pada tabel II. Bahan tersebut kemudian dibuat benda uji masing-masing untuk uji keausan dengan ukuran 30 mm × 50 mm × 6 mm, uji kekerasan dengan ukuran 30 mm × 30 mm × 6 mm, dan benda uji tarik dengan ukuran 30 mm × 200 mm × 6 mm. Benda uji-benda uji ini kemudian dilapisi dengan proses *metal spraying* (*thermospray*) dengan sistem tanpa tekanandengan skema seperti ditunjukkan pada gambar 4. Komposisi kimia serbuk *metal spraying* yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel III.



Gambar 4. Proses *metal spraying* dengan sistem tanpa tekanan

Tabel I. Komposisi kimia bahan baja cor untuk dudukan bantalan gear box Kereta Api (% berat)

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	W	Pb	Fe
%	0,30	0,54	0,72	0,053	0,033	0,11	0,48	0,18	0,01	0,03	sisanya

Tabel II. Sifat-sifat mekanik bahan baja cor untuk bahan dudukan bantalan gear box Kereta Api

Bahan	Tegangan luluh (N/mm <sup>2</sup> )	Tegangan maks. (N/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)
Baja cor	247,92	388,54	10,11

Tabel III. Komposisi kimia serbuk metal spraying (% berat)

Unsur	Ni	Cr	Si	C
%	98,67	0,168	1,056	0,086

Pengujian keausan dilakukan dengan mesin *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine Type OAT-U*. Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian keausan adesif dengan variabel beban, kecepatan, dan jarak pengausan yang konstan. Masing-masing benda uji diuji pada 5 titik yang berbeda dan hasilnya dirata-rata. Hasil pengujian berupa lebar bekas penekanan, dan dari hasil pengukuran ini dapat dicari laju keausan spesifik, dengan rumus sebagai berikut :

$$W_s = -\frac{B \cdot b^3}{78,48 \cdot r \cdot P \cdot l} \quad \left( \frac{\text{m}^2}{\text{N}} \right) \quad (1)$$

laju keausan tanpa dimensi,

$$W = \frac{\Delta m}{\rho \cdot A \cdot l} = \frac{\Delta h}{l} \quad (2)$$

dan laju kedalaman aus,

$$W_t = \frac{\Delta h}{t} \quad \left( \frac{\text{m}}{\text{jam}} \right) \quad (3)$$

dengan,

$$\Delta h = r - \sqrt{r^2 - \left( \frac{b^2}{4} \right)} \quad (\text{m})$$

- $\Delta h$  = kedalaman aus, m
- $t$  = waktu pengausan, jam
- $l$  = jarak pengausan, m
- $\Delta m$  = massa yang hilang, kg
- $\rho$  = densitas material, kg/m<sup>3</sup>
- $A$  = luas bidang kontak, m<sup>2</sup>
- $B$  = tebal piring putar pengaus, m
- $b$  = lebar bekas penekanan, m
- $r$  = jari-jari piring putar (pengaus), m
- $P$  = beban normal akhir, N

Pengujian kekerasan dilakukan dengan mesin uji kekerasan mikro. Pengujian ini dilakukan setelah pemeriksaan struktur mikro. Pada benda uji yang dilapisi *metal spraying*, pengujian dilakukan pada 4 daerah dan masing-masing diuji 5 kali pada titik yang berbeda, kemudian hasilnya dirata-rata. Sedangkan pengujian tarik dilakukan dengan Mesin Uji Tarik Universal Merk MTS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses *metal spraying* pada bahan rumal bantalan gear box Kereta Api yang aus didapatkan hasil-hasil sebagai berikut :

### Pengamatan Tebal Lapisan

Pengamatan proses *metal spraying* pada bahan dudukan bantalan baja cor dihasilkan tebal lapisan *metal* minimum =  $0,70 \times 10^{-3}$  m dan tebal lapisan *metal* maksimum =  $2,0 \times 10^{-3}$  m seperti disajikan pada tabel IV, dan dihasilkan tebal rata-rata lapisan *metal*:  $1,37 \times 10^{-3}$  m.

Tabel IV. Hasil pengukuran ketebalan lapisan *metal spraying*

Benda Uji	Tebal lapisan ( $\times 10^{-3}$ m)	
	Minimum	Maksimum
1	1,20	1,32
2	1,40	1,40
3	1,00	1,16
4	0,70	1,44
5	1,70	1,80
6	1,70	2,00
7	0,80	1,50
8	1,20	1,70
9	0,92	1,20
10	1,26	2,00
Rata-rata	1,19	1,55

Tebal pengukuran minimum =  $0,70 \times 10^{-3}$  m

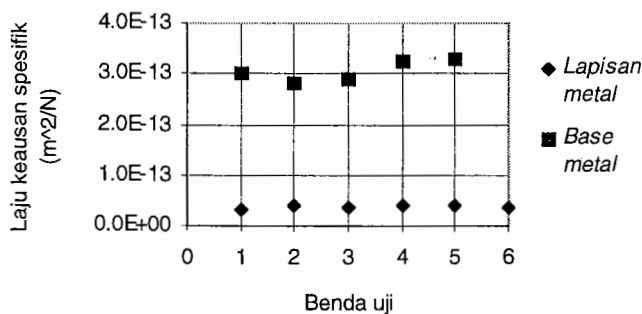
Tebal pengukuran maksimum =  $2,00 \times 10^{-3}$  m

Rata-rata tebal pengukuran =  $1,37 \times 10^{-3}$  m

### Hasil Pengujian Keausan

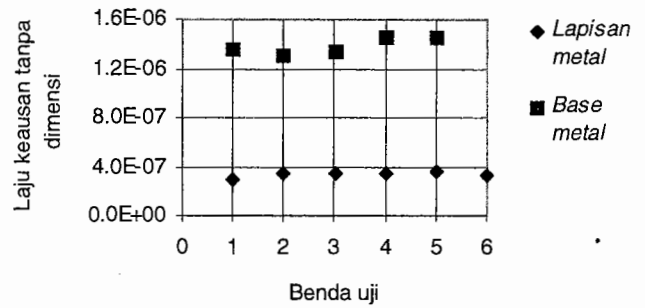
Pengujian keausan untuk *base metal* dan lapisan *metal* hasil proses *metal spraying* dilakukan dengan variabel pengujian yang konstan dan sama untuk kedua macam benda uji. Pengujian dilakukan pada jarak pengausan 100 meter dan kecepatan pengaus 1,186 m/detik. Hasil pengujian keausan diperoleh lebar bekas penekanan (*b*). Laju keausan spesifik (*Ws*) dapat dihitung dengan persamaan (1), dengan tebal piring putar pengaus (*B*), jari-jari piring putar (*r*), beban normal akhir (*P*), dan jarak pengausan (*l*). Laju keausan tanpa dimensi (*W*) dan laju kedalaman aus (*Wt*) dapat dihitung dengan persamaan (2) dan (3) dengan kedalaman aus ( $\Delta h$ ) dan waktu pengausan (*t*). Hasil pengujian keausan dilukiskan pada gambar 4, 5, dan 6.

Perbandingan laju keausan spesifik antara *base metal* dan lapisan *metal*



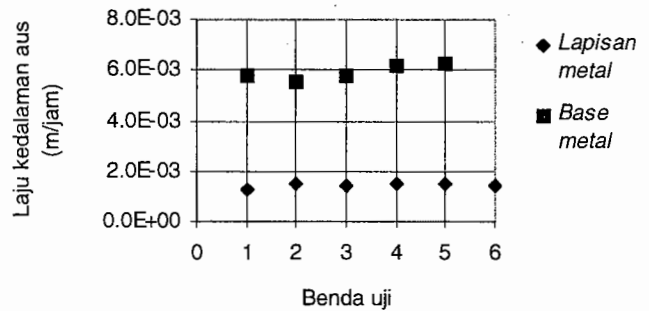
Gambar 4. Laju keausan spesifik (*Ws*)

Perbandingan laju keausan tanpa dimensi antara *base metal* dan lapisan *metal*



Gambar 5. Laju keausan tanpa dimensi (*W*)

Perbandingan laju kedalaman aus antara *base metal* dan lapisan *metal*

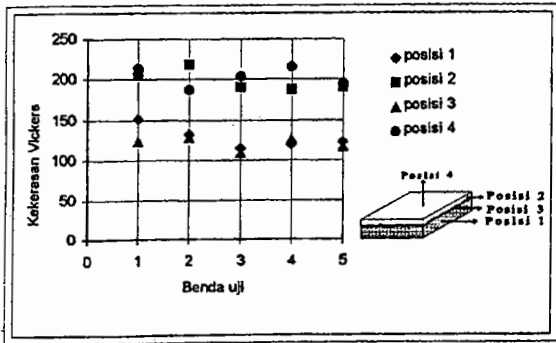


Gambar 6. Laju kedalaman aus (*Wt*)

Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa laju keausan *base metal* kurang lebih 8  $\times$  lebih besar dibandingkan dengan lapisan *metal* hasil proses *metal spraying*. Sedangkan laju keausan tanpa dimensi (gambar 5) dan laju kedalaman aus (gambar 6) kurang lebih 4  $\times$  lebih besar. Dengan demikian proses *metal spraying* sangat sesuai dipergunakan untuk meningkatkan ketahanan aus permukaan dudukan bantalan sebuah *gear box*.

### Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan untuk benda uji yang dilapisi dengan proses *metal spraying* dalam berbagai posisi pengujian ditunjukkan pada gambar 7. Pada posisi 1 (*base metal*) nilai rata-rata kekerasan Vickers  $H_v = 128,15$ , pada posisi 2 (lapisan *metal* sejajar bidang normal)  $H_v = 199,49$ , pada posisi 3 (batas antara *base metal* dengan lapisan *metal spraying*)  $H_v = 120,33$ , dan pada posisi 4 (lapisan *metal* tegak lurus bidang normal)  $H_v = 202,15$ . Dengan demikian, proses *metal spraying* pada penelitian ini dapat meningkatkan kekerasan permukaan bahan dudukan bantalan baja cor. Hal ini sesuai dengan jenis bahan yang disemprotkan yaitu paduan nikel yang salah satu sifat utamanya merupakan logam berat yang keras tetapi liat.



Gambar 7. Grafik perbandingan kekerasan Vickers pada berbagai posisi untuk benda uji yang dilapisi

Kekerasan pada batas lapisan sedikit lebih rendah dari kekerasan pada *base metal* maupun lapisan *metal*. Ini menunjukkan bahwa sedikit pelunakan terjadi pada *base metal* yang disebabkan oleh panas pada proses *metal spraying*. Pelunakan ini akan menambah keuletan bahan di sekitar batas lapisan, sehingga terjadi ikatan antara *base metal* dengan lapisan *metal* cukup kuat. Sebab ikatan yang terjadi pada proses *metal spraying* adalah ikatan mekanis, adesi antara serbuk logam dengan *base metal* terkunci pada pecahan permukaan *base metal* yang telah disiapkan dan kohesi terjadi antara serbuk logam itu sendiri. Jadi beberapa bagian serbuk logam masuk ke bagian permukaan *base metal* yang digrit *blasting*, sehingga terjadi penguncian mekanis antara *base metal* dengan lapisan *metal*.

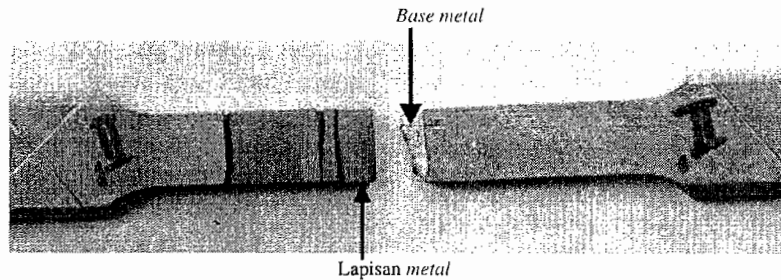
### Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik untuk benda uji yang diberi lapisan *metal* dengan *metal spraying* didapatkan kekuatan tarik maksimum  $\sigma_u = 375,8 \text{ N/mm}^2$ . Lapisan *metal* mengalami kegagalan (patah) di beberapa tempat di sepanjang panjang ukur benda uji seperti ditunjukkan pada gambar 8.a. Patahan terjadi karena di daerah tersebut *base metal*nya mengalami cacat setempat. Hal ini disebabkan tebal lapisan *metal* lebih tipis dibandingkan dengan *base metal*. Lapisan *metal* tidak mampu menahan deformasi terlalu besar dari *base metal* sehingga terjadi kegagalan lebih awal. Bentuk patahan melintang ditunjukkan pada gambar 8.b.

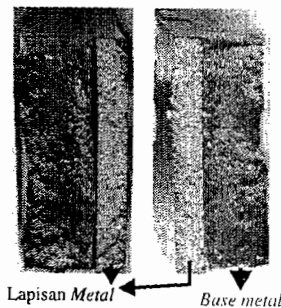
### Pengamatan Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro pada benda uji tanpa dan dengan *metal spraying* ditunjukkan pada gambar 9. Gambar 9a adalah struktur mikro logam dengan *metal spraying* dietsa dengan nitrat 5%, sedangkan pada gambar 9b dietsa dengan asam nitrat 100% di bagian lapisan *metal*, dan gambar 9c adalah struktur mikro *base metal*.

Bila dibandingkan gambar 9a dan 9c ditunjukkan bahwa proses *metal spraying* menyebabkan perubahan struktur mikro pada *base metal*. Struktur yang terbentuk adalah berupa perlit kasar yang tersebar pada matrik ferit.



(a) Bentuk patahan sisi lapisan *metal* dan *base metal*



(b) Bentuk patahan melintang

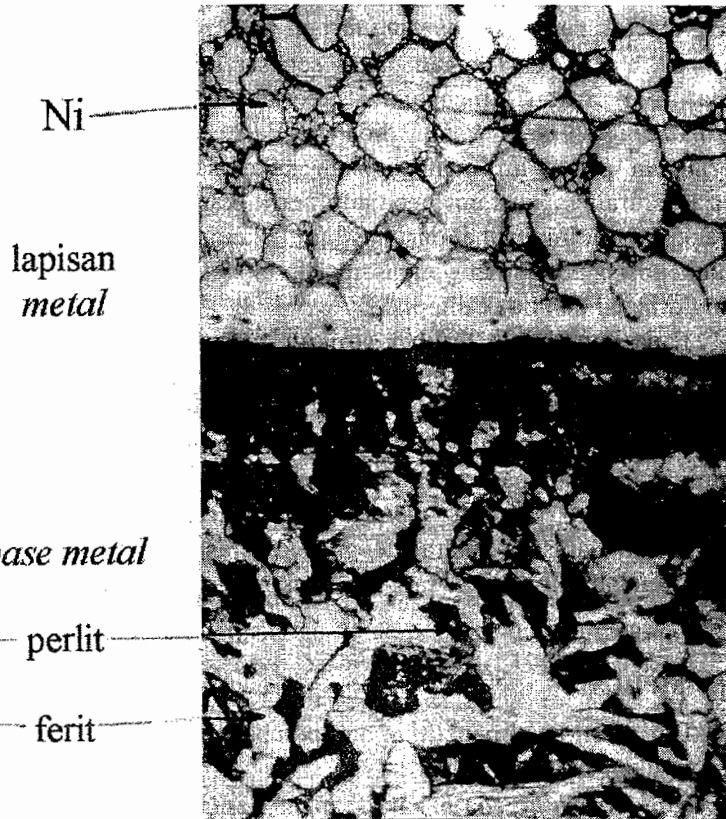
Gambar 8. Fenomena hasil uji tarik untuk benda uji dengan lapisan *metal spraying*



a

50 μm

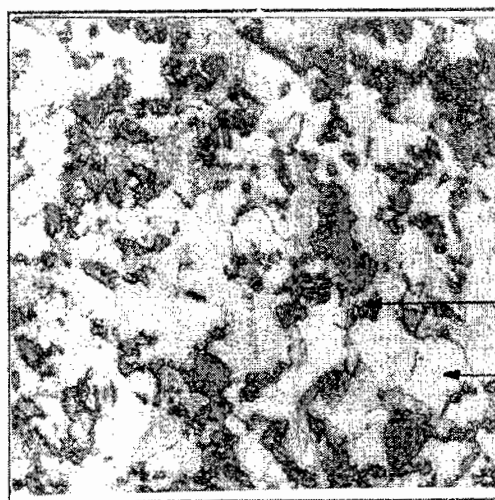
(a) Struktur mikro dietsa dengan Nital 5%



b

50 μm

(b) Struktur mikro dietsa dengan HNO<sub>3</sub> 100% di bagian lapisan metal



c

50 μm

(c) Struktur mikro base metal

Gambar 9. Struktur mikro lapisan metal spraying dan base metal

Proses *metal spraying* adalah proses pelapisan yang disertai panas. Panas yang terjadi pada proses ini sampai  $\pm 850$  °C. Dengan panas sebesar itu, logam baja cor akan mengalami perlakuan panas *normalizing*. Hasil yang didapat dari pengaruh perlakuan panas ini menyebabkan kekerasan turun serta terurainya austenit menjadi perlit kasar (Van Vlack, 1985). Ini terlihat dari hasil uji kekerasan turun untuk posisi pengujian yang sama untuk *base metal* yang dilapisi dan tidak dilapisi.

Pada gambar 9b terlihat struktur mikro lapisan *metal* yang mempunyai komposisi, Ni = 98,67%, Cr = 0,168%, Si = 1,056%, dan C = 0,086%. Bulatan-bulatan putih adalah Ni dan bagian yang gelap merupakan unsur paduan. Pada batas lapisan tampak struktur mikro lapisan *metal* sangat terang, ini merupakan lapisan antara dengan kekerasan yang lebih rendah dibanding rata-rata kekerasan lapisan *metal*.

## KESIMPULAN

Dari hasil-hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. *Metal spraying* pada bahan dudukan bantalan baja cor dihasilkan ketebalan lapisan rata-rata = 1,37 mm, dan kekerasan lapisan lebih tinggi dari *base metal*.
2. Perbandingan laju keausan spesifik ( $Ws$ ), laju keausan tanpa dimensi ( $W$ ), laju kedalaman aus ( $Wt$ ) lapisan *metal* terjadi penurunan kurang lebih 8 : 4 : 4. Jadi, pelapisan dengan *metal spraying* pada bahan dudukan bantalan baja cor dapat meningkatkan ketahanan aus.
3. Proses *metal spraying* dapat diterapkan untuk rekondisi dimensi permukaan dudukan bantalan baja cor yang aus.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua staf dosen, laboran, dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM, Pimpinan dan Staf Karyawan Balai Yasa Perumka Yogyakarta, dan semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Avner, S. H., 1974, *Introduction to Physical Metallurgy*, 567-575, 2<sup>nd</sup> edition, McGraw-Hill Inc., Singapore
- Friedrich, K., 1992, *Polimer Composites under Wear Loading*, Phase Interaction in Composite Materials, 94, Paipetis, S.A. and papanicolau, G.C., Ed., Omega Scientific, United Kingdom
- Little, Richard L., 1977, *Metalworking Technology*, 341-347, Tata Mcgraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi
- Moore, Harry D., and Kibbey, Donald R., 1982, *Manufacturing Materials and Processes*, 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons, New York
- Puja, I.G.K., 1996, *Analisis Lapisan Metal Spraying pada Bahan Dudukan Bantalan Baja Cor*, Skripsi S1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UGM
- Neale, M.J., Ed., 1973, *Tribology Handbook*, Newnes-Butterworths, London
- Trethewey, K.R., dan Chamberlain, J., 1991, *KOROSI untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasawan*, Alihbahasa Alex Tri Kantjono Widodo, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Van Vlack, Lawrence H., 1985, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Alih bahasa oleh Sriati Djaprie, Edisi kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta