

## Hardness and Wear of Nickel-Tungsten Layers on Medium Carbon Steel under Rolling-Sliding Contact Test

I Made Widiyarta<sup>1,2,\*</sup>, I Made Parwata<sup>1,2</sup>, I Putu Lokantara<sup>1</sup> dan D. Ranto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana - Denpasar

<sup>2</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana - Denpasar

\*Korespondensi: m.widiyarta@unud.ac.id

**Abstract.** Wear is surface failure of material occurred when two contacted object moving relatively each other, such as rolling contact. Wear failure can cause the changes in component surface profile. Ignoring this failure sign, will lead to the severe wear and finally resulting in component malfunction. To reduce wear rate and extend the component life, contact surface modification is performed by coating the surface component using material that has good wear resistance. In this research, the surface modification is conducted using nickel-tungsten layer to coat carbon steel using flame powder spray coating in order to increase wear resistance. Hardness of coating and substrates is investigated until its certain depth while rolling-sliding wear test is conducted using two contact disks. The results indicate that hardness of nickel-tungsten coating succeed to reduce the wear and the wear mechanism did not indicate any plastic deformation of coating material, above and below its surface.

**Abstrak.** Aus merupakan kegagalan permukaan material sebagai akibat kontak dua permukaan benda yang bergerak relatif satu dengan yang lainnya seperti beban kontak gelinding-luncur. Kegagalan aus tersebut dapat mengakibatkan perubahan profil permukaan komponen. Apabila aus yang terjadi sangat besar maka dapat mengakibatkan komponen tidak dapat digunakan lagi. Untuk mengurangi tingkat keausan dan memperpanjang umur komponen, rekayasa permukaan kontak material dapat dilakukan dengan cara melapisi permukaan kontak komponen dengan material yang memiliki ketahanan aus lebih baik. Pada penelitian ini, rekayasa permukaan kontak material dilakukan dengan melapisi permukaan baja karbon sedang dengan lapisan Nikel-Tungsten melalui proses *flame powder spray coating* untuk meningkatkan ketahanan aus material. Kekerasan lapisan dan material inti hingga kedalaman tertentu diamati ketika uji aus dilakukan dengan beban kontak gelinding-luncur melalui kontak dua disk. Hasil uji menunjukkan dengan kekerasan lapisan Nikel-Tungsten yang relatif sangat besar, keausan yang terjadi menjadi sangat kecil dan mekanisme aus yang terjadi tidak memperlihatkan adanya deformasi plastik pada material pelapis dipermukaan dan dibawah permukaan.

**Kata kunci:** baja karbon, *nikel-tungsten*, pelapisan, beban gelinding-luncur, aus

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Dua buah benda/komponen yang saling kontak dan bergerak relatif satu dengan yang lainnya seperti kontak gelinding-luncur yang terjadi antara roda kereta api dan rel, antara bola dengan alur bola pada bantalan bola, dll. dapat menimbulkan kegagalan pada permukaan benda/komponen tersebut berupa kegagalan aus. Aus merupakan kegagalan permukaan yang sangat progresif yaitu hilangnya material dipermukaan berupa partikel aus akibat gesekan [1]. Aus pada komponen dapat mengakibatkan perubahan profil permukaan kontak komponen sehingga dapat mempengaruhi kerja komponen. Bila aus yang terjadi relatif besar, maka komponen kemungkinan tidak dapat digunakan lagi atau umur pemakaian komponen menjadi lebih pendek.

Untuk meningkatkan umur pemakaian komponen yang mengalami kontak/gesekan dapat dilaku-

kukan dengan meningkatkan ketahanan aus permukaan komponen atau hanya pada bagian dari permukaan yang mengalami kontak. Meningkatkan ketahanan aus tersebut dapat dilakukan dengan melapisi bagian permukaan yang mengalami kontak/gesekan dengan material yang memiliki ketahanan aus lebih baik. Salah satu metode pelapisan permukaan material yang dapat digunakan yaitu dengan pelapisan panas.

Pelapisan panas yaitu proses pelapisan dimana material pelapis (*deposit material*) dicairkan terlebih dahulu sebelum disemprotkan/dilekatkan ke permukaan material yang akan dilapisi (permukaan *substrate*) [2-4]. Salah satu metode pelapisan panas yaitu *flame powder spray coating*, yaitu pelapisan panas dengan menggunakan material pelapis dalam bentuk powder.

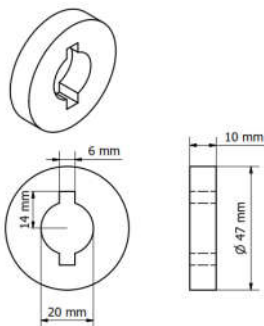
Dalam proses pelapisan panas, suhu pemanasan awal pada permukaan *substrate*, jarak penyemprom-

tan (jarak ujung nosel *spray-torch* ke permukaan *substrate*) akan sangat mempengaruhi kualitas pelapis [4], demikian juga dengan gerak pelapisan, dan kecepatan semprotan partikel pelapis (*flow rate* partikel pelapis) keluar dari nosel *spray-torch* akan sangat mempengaruhi kualitas lapisan [2]. Kualitas lapisan ditunjukkan dengan karakteristik fisik lapisan yang meliputi besarnya jumlah *porosity*, adanya partikel yang tidak cair dan oksidasi yang terdapat pada hasil lapisan.

Pada penelitian ini, rekayasa permukaan material untuk meningkatkan ketahanan aus material dilakukan melalui proses pelapisan panas dengan metode *powder flame spray coating*. Baja karbon sedang sebagai material inti dilapisi dengan paduan Nickel-Tungsten hingga ketebalan tertentu. Kekerasan material setelah dilapisi dari permukaan sampai kedalaman tertentu diamati dan uji aus dilakukan melalui uji kontak dua disk (beban gelinding-luncur).

**Metode Penelitian**

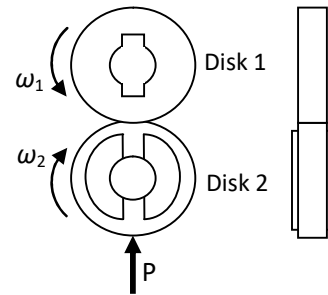
Pada penelitian ini, proses *thermal coating* dilakukan dengan metode *powder flame spray coating*. Material inti (*substrate*) yang akan dilapisi menggunakan komersial baja karbon sedang (ST 60) yang memiliki kandungan karbon sekitar 0,5% [5]. Material pelapis (*deposite material*) dalam bentuk powder yang digunakan yaitu Nickel-Tungsten (Ni-W) dengan komposisi utama Ni sebesar 55,62% dan Tungsten (W) sekitar 22,7%.



**Gambar 1.** Spesimen uji

Proses pelapisan terhadap spesimen uji (gambar 1) dilakukan dengan tekanan gas oksigen sekitar  $4 \times 10^5$  Pa dan tekanan gas acetyline sekitar  $0,75 \times 10^5$  Pa. Sebelum permukaan material inti (*substrate*) dilapisi, permukaan diberi perlakuan awal diantaranya *sand-blasting* dan pemanasan awal (*pre-heating*). Proses *sand-blasting* dilakukan dengan

menyemprotkan partikel Aluminium Oxide ( $Al_2O_3$ ) dengan tekanan  $8 \times 10^5$  Pa ke permukaan material inti. Perlakuan pemanasan awal dilakukan terhadap permukaan material inti hingga suhu permukaan mencapai sekitar  $900^\circ C$  sebelum serbuk paduan Ni-W disemprotkan ke permukaan material inti. Pelapisan Ni-W dibuat hingga ketebalan lapisan sekitar 500  $\mu m$  dan pengerjaan akhir permukaan dilakukan melalui proses gerinda dalam kondisi basah dengan hasil kekasaran permukaan sekitar Ra 0,582.



**Gambar 2.** Kontak dua disk

Uji aus dengan beban gelinding-luncur dilakukan dalam uji kontak dua disk (gambar 2) yang mengacu pada *twin-disc wear test machine* yang dikembangkan oleh Tyfour [6]. Disk 1 posisi atas adalah disk yang dilapisi dengan Ni-W dan disk 2 posisi bawah adalah disk yang tidak dilapisi. Disk 1 diset dengan kecepatan putar 500 rpm dan disk 2 diset pada kecepatan putar 507 rpm. Beban diberikan melalui disk 2 dengan tekanan maksimum 750 MPa. Selama proses uji kontak gelinding-luncur, udara dialirkan ke permukaan kedua disk/spesimen untuk menjaga suhu permukaan kontak tetap konstan, untuk menghindari munculnya efek perubahan suhu permukaan kontak akibat gesekan kedua disk dan membebaskan permukaan kontak dari serpihan partikel aus dan debu. Uji aus dilakukan hingga jumlah total putaran pembebanan mencapai 40000 putaran dengan pengambilan data aus dilakukan setiap 2500 putaran.

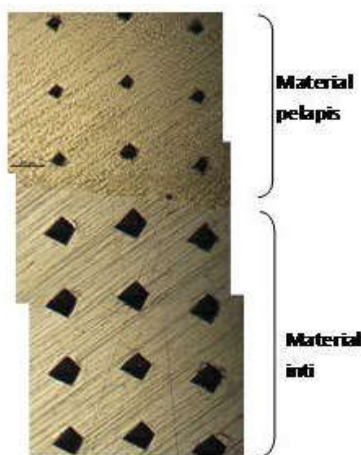
**Hasil dan Pembahasan**

Gambar 3 menunjukkan hasil pelapisan dengan ketebalan lapisan sekitar 500  $\mu m$ . Dari gambar mikro terlihat hasil pelapisan relatif cukup baik. Gambar 4 menunjukkan identasi hasil uji kekerasan material pelapis (Ni-W) dan material inti pada

kedalaman sekitar 100  $\mu\text{m}$  sampai kedalaman sekitar 1400  $\mu\text{m}$  dari permukaan dan tabel 1 menunjukkan nilai kekerasannya.



Gambar 3. Ketebalan lapisan Ni-W



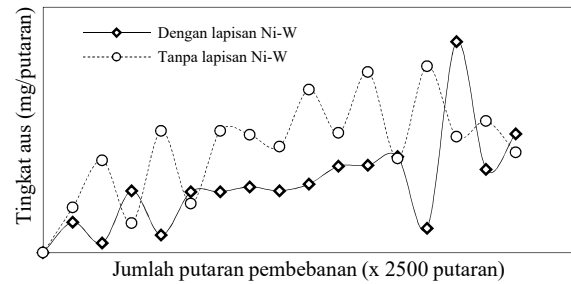
Gambar 4. Indentasi hasil uji kekerasan Vicker dibawah permukaan

Tabel 1. Kekerasan material dibawah permukaan

No	Kedalaman ( $\mu\text{m}$ )	Kekerasan (HVn)
1	117	1003
2	317	958
3	517	857
4	717	258
5	917	242
6	1117	230
7	1317	221

Pada lapisan Ni-W, terlihat kekerasan didekat permukaan (sekitar 117  $\mu\text{m}$  dibawah permukaan) memiliki kekerasan ter-tinggi yaitu sekitar 1000 HVn, semakin kedalam, kekerasan sedikit turun hingga kekerasan mencapai nilai sekitar 857HVn. Pada bagian material inti, kekerasan pada bagian terdekat dengan lapisan memiliki kekerasan lebih besar yaitu sekitar 258 HVn (pada jarak sekitar 700  $\mu\text{m}$  dari permukaan) dibandingkan pada bagian sekitar 600  $\mu\text{m}$  di bawahnya yaitu sekitar 221 HVn. Perbedaan nilai kekerasan tersebut mungkin diakibatkan karena adanya proses pemanasan awal dan proses pen-dinginannya. Hal ini mungkin juga mengakibatkan terjadinya proses difusi carbon dari material bagian bawah ke bagian atas, sehingga mengakibatkan kekerasan material bagian atas pada

lapisan dan juga pada material inti memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan kekerasan pada bagian di bawahnya.

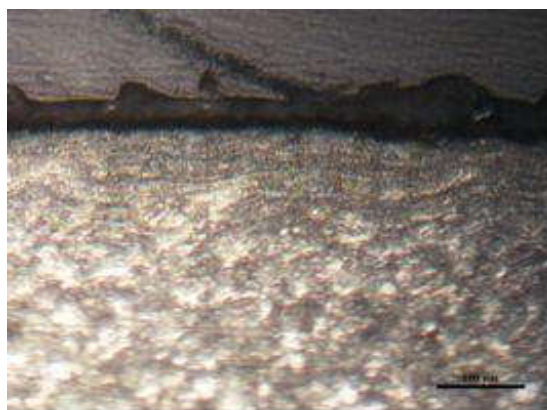


Gambar 5. Tingkat keausan akibat beban gelinding-luncur dengan 40000 putaran pembebanan yang dirata-rata setiap 2500 putaran

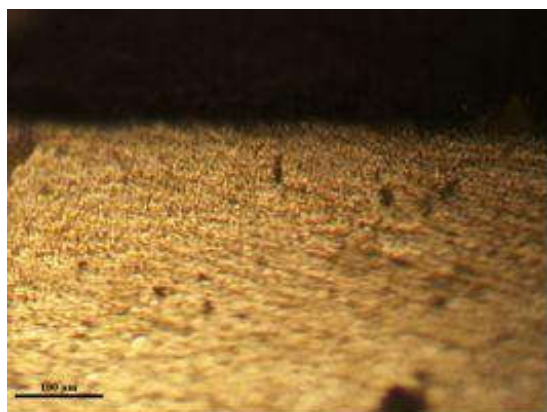
Gambar 5 menunjukkan tingkat keausan yang terjadi pada material dengan lapisan Ni-W (ditunjukkan dengan garis utuh) dan keausan yang terjadi pada material baja karbon ST60 tanpa lapisan (ditunjukkan dengan garis putus-putus) dengan beban gelinding-luncur hingga 40000 putaran, tekanan maksimum 750MPa dan rasio *slip/roll* 1%. Tingkat keausan yang terjadi akibat beban gelinding-luncur pada lapisan Ni-W jauh lebih kecil dibandingkan dengan tingkat keausan yang terjadi pada baja karbon. Tingkat keausan yang terjadi pada lapisan Ni-W sebesar 0,0146 mg/putaran dan tingkat keausan yang terjadi pada baja karbon sedang yaitu sekitar 0,0226 mg/putaran. Kekerasan lapisan Ni-W yang relatif jauh lebih besar dibandingkan dengan baja karbon sedang (ST60) mengakibatkan tingkat keausan yang terjadi pada lapisan Ni-W lebih kecil. Keausan yang terjadi pada lapisan Ni-W dan baja karbon tanpa lapisan terlihat memiliki pola yang mendekati sama, yaitu dengan bertambahnya siklus pembebanan, keausan yang terjadi meningkat dan selanjutnya akan tetap pada nilai fluktuasi tertentu.

Mekanisme aus akibat beban gelinding-luncur yang terjadi pada material baja karbon tanpa lapisan terlihat diawali dengan terjadinya deformasi plastis. Beban yang berulang-ulang mengakibatkan deformasi plastis (regangan geser plastis) yang terjadi terakumulasi cukup besar dan selanjutnya terlepas dari permukaan sebagai partikel aus (gambar 6). Dari gambar terlihat material dibawah permukaan hingga kedalaman sekitar 300  $\mu\text{m}$  mengalami deformasi plastis. Gaya tekan mengakibatkan struktur mikro material dekat permukaan terlihat menjadi pipih dan berlapis-lapis, dan gaya geser sesuai arah traksi mengakibatkan material mengalami regangan geser. Hal yang berbeda terjadi pada lapisan Ni-W, material dekat permukaan tidak terlihat mengalami deformasi plastis (gambar 7). Beban gelinding-luncur yang berulang-ulang mengakibatkan material di permukaan (*asperity*) mengalami patah (*frac-*

ture) dan terlepas dari permukaan sebagai partikel aus. Hal ini sesuai dengan proses kegagalan pada material getas, dimana kegagalan terjadi tidak disertai munculnya deformasi plastis.



**Gambar 6.** Material dibawah permukaan baja karbon setelah 40000 putaran pembebanan



**Gambar 7.** Material dibawah permukaan lapisan Ni-W setelah 40000 putaran pembebanan

## Kesimpulan

Tingkat keausan material pelapis Ni-W akibat beban gelinding-luncur dengan maksimum tekanan 750 MPa dan dengan rasio slip/roll sekitar 1% relatif sangat kecil yaitu sekitar 0,0146 mg/putaran atau sekitar 55% lebih kecil dari tingkat keausan yang terjadi pada baja karbon sedang yaitu sekitar 0,0226 mg/putaran. Mekanisme aus yang terjadi pada karbon sedang akibat beban gelinding-luncur ditunjukkan dengan adanya deformasi regangan geser plastis yang relatif besar dekat permukaan sebelum terlepas sebagai partikel aus. Sedangkan pada material pelapis Ni-W, tidak terlihat material dekat permukaan mengalami deformasi plastik sebelum terlepas dari permukaan sebagai partikel aus.

## Ucapan Terimakasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Universitas Udayana atas bantuan dana penelitian melalui Hibah Penelitian PNBPN 2017.

## Daftar Pustaka

- [1] Williams, J. A., "Engineering tribology", 1994, New York: Oxford University Press Inc.
- [2] R.C. Tucker, Jr., Thermal Spray Technology, ASM Handbook, 2013, Volume 5A
- [3] R.S.C. Paredes, S.C. Amico, A.S.C.M. d'Oliveira, "The effect of roughness and pre-heating of the substrate on the morphology of aluminium coatings deposited by thermal spraying" Surface & Coatings Technology 200 (2006) 3049 – 3055.
- [4] I Made Widiyarta, I Made Parwata, I Putu Lokantara dan Davin P. A., Karakteristik lapisan NiCr pada baja karbon sedang dengan metode pelapisan *flame spray coating* dengan variasi jarak semprotan, Jurnal METTEK Volume 2, No. 1, 2016.
- [5] Sarjito, Analisa kekuatan puntir, lentur putar dan kekerasan baja ST60 untuk poros propeller setelah dikuencing, ROTASI, Volume 11 Nomor 2 April 2009.
- [6] W.R. Tyfour, J.H. Beynon, and A. Kapoor, *Deterioration of rolling contact fatigue life of pearlitic rail steel due to dry-wet rolling-sliding line contact*, Wear, 1996. 197: p. 255 – 265.