

Pengaruh Variasi Slip Ratio Terhadap Keausan Lapisan Nikel Tungsten Pada Baja Karbon Sedang Akibat Beban Gelinding Luncur

Sesep Aditio Simatupang, I Made Widiyarta, I Made Parwata
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kereta api yang melintas diatas rel dengan beban maksimum per roda ke rel sebesar 750 MPa akan mengalami slip dan rolling antara roda dan rel ketika melakukan gerak awal, pengereman, pendakian, penikungan akan mempengaruhi keausan, sehingga mengurangi umur pemakaian rel. Untuk mempelajari hal ini dilakukan pengujian kontak twin disc, antara roda dan rel. Pengujian menggunakan baja karbon yang dilapisi Nikel Tungsten sebagai rel dan baja karbon sedang sebagai roda, yang diuji sebanyak 40.000 siklus putaran dengan rasio slip-roll sebesar 1%, 3%, dan 7%. Hasil uji menunjukkan, keausan akibat slip-roll ratio 1 % mencapai 0.583 mg, keausan akibat slip-roll ratio 3% mencapai 0.633 mg dan keausan akibat slip-roll ratio 7% mencapai 1.080 mg.

Kata kunci : high slip-roll ratio, keausan, regangan geser, nikel, tungsten

Abstract

A Train passes on the rails with the maximum load per wheel to the rail of about 750 MPa will cause slip between the wheels and the rails when starting to move accelerating, braking, climbing and curving. The ratio of slip-rolling will affects the failure to wear at the rails material. To study the effect of slip roll ratio on the wear, rolling sliding contact test was conducted in the twin disc contact machine. Carbon steel with Nikel Tungsten coating was used as rail material and carbon steel as a wheel material. The test was performed with number of cycles of 40.000 cycles, with slip roll ratio of 1%, 3% and 7%. The results show, wear of coated material with 1% slip roll ratio is about 0,583 mg, slip-roll ratio 3% the wear is about 0.633 mg and slip-roll ratio 7% the wear is about 1.080 mg.

Keywords: high slip-roll ratio, wear, shear strain, nickel, tungsten

1. Pendahuluan

Kereta api adalah bentuk transportasi rel yang terdiri dari serangkaian kendaraan yang ditarik sepanjang jalur kereta api untuk mengangkut kargo atau penumpang. Gaya gerak disediakan oleh lokomotif yang terpisah atau motor individu. Kata 'train' berasal dari bahasa Perancis Tua *trahiner*, dari bahasa Latin *trahere* 'tarik, menarik'. Kereta pertama dengan bentuk ditarik menggunakan tali, gravitasi bertenaga atau ditarik oleh kuda. Dari awal abad ke-19 hampir semuanya didukung oleh lokomotif uap. Dari tahun 1910-an dan seterusnya lokomotif uap mulai digantikan lokomotif diesel dan lokomotif listrik. Pada saat melintasi rel, kecepatan roda adalah menggelinding berbeda dengan kecepatan rel relative terhadap kereta linear. Dengan demikian maka terjadi mekanisme kontak beban dan kecepatan yang berfluktuatif antara roda dan rel. Akibat terjadinya perbedaan kecepatan, maka hal tersebut akan menghasilkan slip, yaitu jika kecepatan linear roda berputar tidak mengimbangi kecepatan linear rel. Kondisi ini sering terjadi pada kecepatan roda kereta saat kondisi *running-in*, tikungan, pengereman, tanjakan dan turunan.

Kegagalan yang sering terjadi pada rel adalah aus, patah, dan lainnya. Hal tersebut disebabkan factor slip dan tegangan yang besar yang menimbulkan panas yang cukup tinggi di permukaan kontak yang mengakibatkan perubahan sifat mekanis material sehingga akan mempercepat terjadinya aus, patah atau kegagalan yang lainnya.

Dalam hal ini slip pada rel sangat berpengaruh terhadap keamanan kereta api saat beroperasi. Untuk itu penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh pelapisan (*Coating*) nikel tungsten pada rel yang menggunakan material baja karbon sedang.

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

Bagaimana pengaruh variasi *slip-roll ratio* (1%, 3%, dan 7%) terhadap keausan pada lapisan nikel tungsten sebagai spesimen rel, dalam proses kontak gelinding-luncur.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Kontak yang terjadi adalah kering dan partikel debu atau benda asing pada saat melakukan pengujian dianggap tidak ada.
2. Material kontak diasumsikan sama

3. Sifat mekanik material diasumsikan sama.
4. Besar tekanan kontak 750 MPa dan diasumsikan konstan.

Adapun tujuan dari penelitian ini untuk Mengetahui pengaruh variasi slip ratio terhadap keausan lapisan nikel tungsten. Mengetahui perilaku material di bawah permukaan kontak akibat perubahan rasio slip.

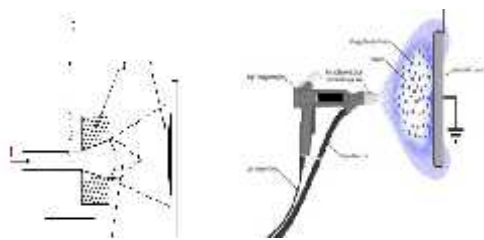
2. Dasar Teori

Proses coating adalah salah satu proses yang sangat dibutuhkan dalam dunia industri. Coating atau pelapisan sendiri dapat dianggap sebagai suatu proses pelapisan yang diterapkan pada suatu benda atau substrat. Tujuan dari coating sendiri adalah untuk dapat meningkatkan sifat permukaan dari benda yang dilapisi. Sifat permukaan tersebut diharapkan dapat ditambah dalam beberapa hal seperti penampilan, ketahanan terhadap air atau korosi, ketahanan dari goresan atau bahkan untuk keausan.

Dengan tujuan tersebut, proses coating pun dirasa dapat menambah daya tahan peralatan atau mesin pada dunia industri, atau bahkan dapat membantu proses industri untuk dapat bekerja dengan lebih baik. Banyak sekali jenis proses coating yang ada di dunia industri, salah satunya adalah untuk proses coating yang ada untuk jenis mesin coating tablet (Pawlowski, 2008).

Prinsip dari coating sendiri adalah dengan mencari titik keseimbangan antara parameter kecepatan coating pan-spray rate larutan dan suhu inlet – outlet dari produk. Beberapa mesin telah dibekali settingan khusus yang dapat secara otomatis kitaa terapkan, namun masih banyak juga jenis mesin coating yang membutuhkan setelah manual dari awal.

Flame spray (FS) adalah teknik spray pertama, dikembangkan oleh insinyur Schoop Swiss pada awal abad terakhir. Proses ini digunakan pada awalnya untuk logam *low-melting*, seperti timah, dan kemudian diperluas untuk logam yang lebih tahan api dan bahkan keramik. Prinsip kerja dari powder flame spray adalah sebagai berikut : Dalam *flame spray torch*, energi kimia hasil pembakaran bahan bakar dan gas oksigen digunakan untuk menghasilkan api panas. Inlet gas aksial (1) dan bubuk (2) dapat dimasukkan secara aksial atau tegak lurus dengan torch (3). Batang dan wire dapat digunakan sebagai pengganti bubuk (Smith, 1974). Partikel menjadi cair dalam api (6) dan dipercepat ke arah benda kerja (4).



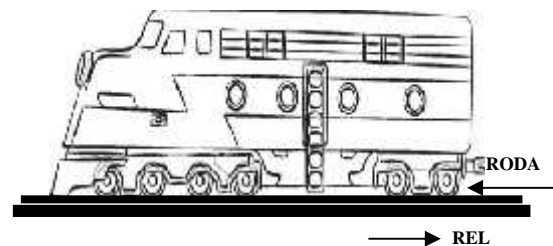
Gambar 1. Skematik powder flame spray

Sumber: (Powlowsky, 2008)

Paduan Ni-W atau Nikel tungsten sering disebut juga wolfram adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang W dan nomor atom 74, logam transisi yang sangat keras dan berwarna kelabu sampai putih ini ditemukan pada mineral seperti wolframit dan schelit, wolfram memiliki titik lebur yang lebih tinggi dibandingkan zat non aloy lainnya, bentuk murni wolfram digunakan terutama pada perangkat elektronisenyawa dan aloynya digunakan secara luas untuk banyak hal, yang paling dikenal adalah sebagai filamen bola lampu, tabung sinar X dan superaloy.

Jenis Paduan ini memiliki sifat ketahanan korosi yang sangat baik dengan kadar karbon yang tinggi koefisien gesek yang rendah dan kekerasan yang prima, paduan ini memiliki ketahanan Abrasi yang sangat baik dan temperatur yang tinggi, paduan ini mengalami *work hardening* dan baik digunakan pada lingkungan kerja yang rentan korosi, elektroda dengan *carbide tungsten* pada matriks austenit. Deposit *hard facing* nya memiliki ketahanan aus yang sangat tinggi namun bersifat rapuh dan ketahanan *impact* yang medium, bentuk Elektroda nya adalah batangan dengan kecepatan deposit yang tinggi, paduan ini juga menunjukkan sifat-sifat mekanik yang sangat baik seperti kekuatan tarik yang tinggi, kekerasan yang prima dan ketahanan abrasi yang unggul sehingga paduan ini sering disebut dengan *stainless steel* (N eliaz, dkk. 2004).

Dalam kondisi beroperasi, roda bergerak menggelinding di atas rel, atau *rolling sliding contact*. Pada saat kondisi kecepatan *idle*, kecepatan kereta relatif terhadap rel. Sehingga kecepatan rel dapat diasumsikan minus kecepatan kereta.



Gambar 2. Gerak Kereta Relatif Terhadap Rel
Sumber: (Tyfour, W.R, dkk, 1996)

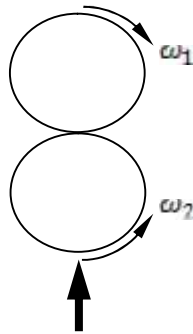
Seperti jika kereta berkecepatan 100 km/jam , maka kecepatan rel adalah -100 km/jam . Namun kondisi ini terkadang berubah pada saat terjadinya perbedaan kecepatan kereta akibat perubahan traksi. Seperti pada saat, *running-in*, tikungan, menanjak, menurun, dan kondisi lainnya, dimana kecepatan linear kereta yang seharusnya dihasilkan oleh kecepatan angular roda berbeda dengan kecepatan linear yang terjadi. Dengan demikian kondisi slip pasti terjadi dengan variasi ketebalan

lapisan coating yang disesuaikan terhadap kecepatan putaran (ω) sama. Semakin besar perbedaan putaran, maka rasio slip yang dihasilkan pun akan semakin besar. Sehingga *Slip-Roll Ratio* adalah kondisi dimana terjadi perbedaan kecepatan putaran antara dua buah benda yang saling kontak.

Kondisi ini akan sangat berpengaruh terhadap keausan, yakni regangan geser yang terjadi. Namun kondisi regangan ini akan lebih besar lagi jika bidang tersebut menerima beban sehingga menghasilkan tekanan kontak yang tinggi. Pada rel, tentunya kondisi tersebut terjadi secara berulang-ulang sesuai dengan pemakaian. Hal ini akan menimbulkan keausan (*wear*) yang berakibat pada kegagalan kelelahan (*fatigue*). Dengan demikian maka keausan pada rel akan terjadi akibat pengaruh *slip-roll ratio*.

Pengaruh ini akan memperlihatkan bagaimana *high slip-roll ratio 1%* mempengaruhi keausan pada ketebalan lapisan coating yang berbeda. Rasio ini dapat dikalkulasi dengan persamaan sebagai berikut (Tyfour, W.R, dkk, (1996)).

$$SR = \frac{|v_1 - v_2|}{((v_1 + v_2)/2)} \times 100\%$$



Gambar 3. Kontak Spesimen *Twin Disc*
Sumber: (Tyfour, W.R, dkk, 1996)

3. Metode Penelitian

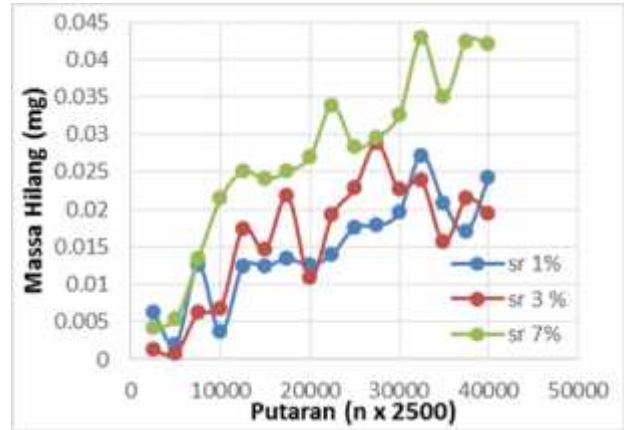
Proses penelitian ini nantinya akan dilakukan beberapa siklus. Pertama menyiapkan bahan specimen dan melakukan pelapisan dengan menggunakan nikel tungsten. Kemudian melakukan uji keausan dengan menggunakan mesin *TwinDisc* hingga putaran 40.000 dengan ketebalan *coating* 0.4 - 0.6 mm dengan variasi slip ratio 1%, 3%, 7%. Beban yang digunakan adalah 750 Mpa. Peneliti mengukur berat dan ketebalan lapisan specimen pada setiap 2500 putaran. Setelah data sudah diketahui selanjutnya dilakukan uji struktur mikro dan dilakukan pengolahan data.

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, baja ST-60 digunakan untuk bahan material roda dan rel, jangka sorong untuk mengukur diameter material specimen, timbangan digital untuk mengukur massa specimen dan ultrasonic cleaner untuk membersihkan specimen.

4. Hasil dan Pembahasan

4.2. Pengujian Slip Ratio 1%, 3%, 7%

Setelah pengujian pada *slip-roll ratio* 1% , 3%, 7% diperoleh hasil keausan massa sebagai berikut

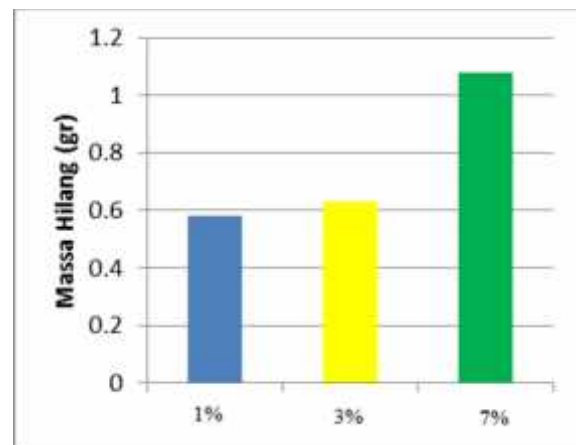


Gambar 4. Grafik Gabungan Massa Hilang

Dari pembahasan rasio 1%, 3%, dan 7% mengenai keausan massa yang hilang per putaran. Dari grafik laju keausan diatas dapat dilihat rasio *slip-roll* yang terjadi mempengaruhi jumlah keausan material. Hal ini dikarenakan semakin besar rasio, maka semakin cepat pula regangan kritis terlewati, dan memiliki nilai kekerasan yang cenderung konstan dipermukaan kontak.

4.3. Pengujian Slip Ratio 1%, 3%, 7%

Setelah pengujian pada *slip-roll ratio* 1% , 3%, 7% diperoleh hasil kedalaman aus sebagai berikut



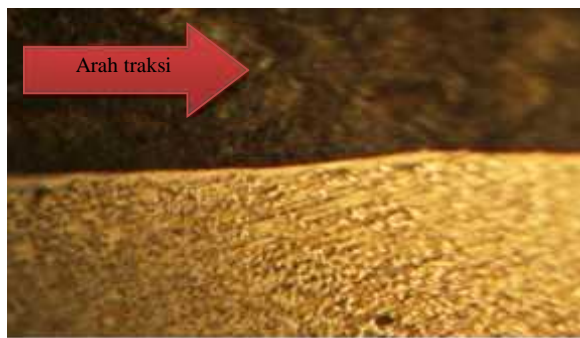
Gambar 5. Grafik Gabungan Massa Hilang

Dari pembahasan massa hilang dari setiap *slip roll ratio* didapatkan hasil seperti grafik balok diatas bahwa *slip roll ratio* berpengaruh terhadap keausan material. Perbedaan massa hilang antara *slip roll ratio* 1% dengan 3% tidak jauh berbeda tetapi perbedaan antara 3% dengan 7% sangat jauh berbeda. Hal ini menandakan bahwa semakin besar *slip roll ratio* semakin besar juga massa yang hilang.

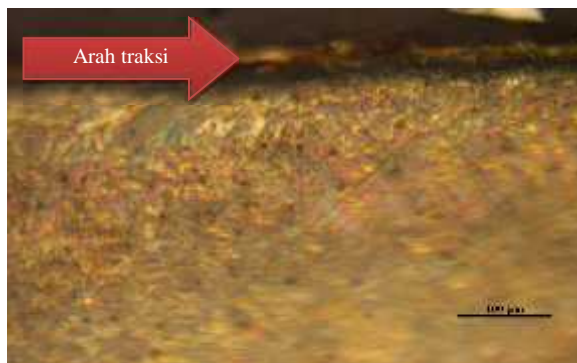
4.4. Uji Struktur Mikro

Penyebab keausan adalah besarnya regangan geser yang terjadi sehingga melebihi regangan kritis material. Untuk melihat mekanisme kerja regangan geser pada permukaan kontak, maka dilakukan pengujian struktur mikro.

Spesimen yang dipotong akan dicetak bersama resin sehingga siap untuk diuji. Setelah spesimen siap, maka akan dilakukan pengampelasan. Proses ini dilakukan secara bertahap mulai dari grid terkecil, 120, 220, 500, 800, 1000, dan terakhir 2000. Selanjutnya spesimen akan dipoles menggunakan autosol. Pada tahap akhir sebelum dilihat pada mikroskop spesimen harus dieching. Cairan etching yang digunakan adalah Nital atau campuran 98ml Alkohol (90%) dan 2ml Asam Nitrat. Untuk lebih jelas berikut adalah hasil penelitian metalografi spesimen.



(a)

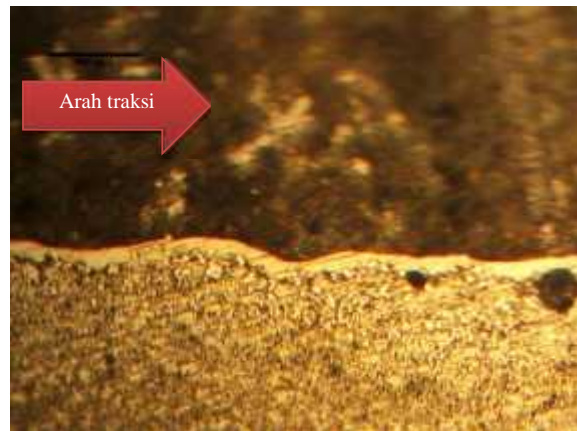


(b)

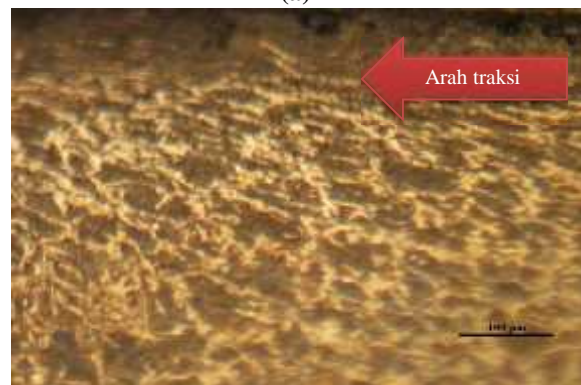
Gambar 6. (a) Struktur Mikro Specimen Rel SR 1% Pembesaran 200X; (b) Struktur Mikro Specimen Roda SR 1% Pembesaran 200X

Dari hasil pengujian metalografi untuk material rel untuk *slip roll ratio* 1% pada gambar diatas dengan pembesaran 200x terlihat regangan geser yang terbentuk yaitu tepat diperbatasan antara material lapisan dengan material substrat mengikuti alur atau arah pada saat uji aus dilakukan (panah merah). Dari hasil pengujian metalografi untuk material roda untuk *slip roll ratio* 1% pada gambar diatas dengan pembesaran 200x terlihat arah

regangan baja karbon sedang tersebut lebih banyak bergeser dibandingkan dengan material rel (panah putih). Hal ini menandakan bahwa *slip roll ratio* 1% berpengaruh terhadap struktur material.



(a)

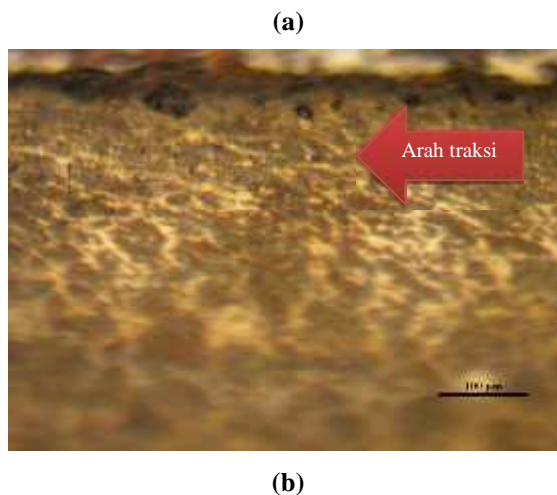


(b)

Gambar 7. (a) Struktur Mikro Specimen Rel SR 3% Pembesaran 200X; (b) Struktur Mikro Specimen Roda SR 3% Pembesaran 200X

Dari hasil pengujian metalografi untuk material rel untuk *slip roll ratio* 3% pada gambar diatas dengan pembesaran 200x terlihat regangan geser yang terbentuk yaitu tepat diperbatasan antara material lapisan dengan material substrat mengikuti alur atau arah pada saat uji aus dilakukan (panah merah). Struktur material yang bergeser di *slip roll ratio* 3% lebih jauh dibandingkan *slip roll ratio* 1%. Dari hasil pengujian metalografi untuk material roda untuk *slip roll ratio* 3% pada gambar diatas dengan pembesaran 200x terlihat arah regangan geser baja karbon sedang tersebut lebih banyak bergeser dibandingkan dengan material rel (panah putih). Hal ini juga menandakan bahwa *slip roll ratio* 3% berpengaruh terhadap struktur material.





Gambar 8. (a) Struktur Mikro Specimen Rel SR 7% Pembesaran 200X; (b) Struktur Mikro Spesimen Roda SR 17% Pembesaran 200X

Dari hasil pengujian metalografi untuk material rel untuk *slip roll ratio* 7% pada gambar diatas dengan pembesaran 200x terlihat regangan geser yang terbentuk yaitu tepat diperbatasan antara material lapisan dengan material substrat mengikuti alur atau arah pada saat uji aus dilakukan (panah merah). Regangan geser dislip *roll ratio* 7% lebih jauh dibandingkan *slip roll ratio* 1% dan *slip roll ratio* 1%. Dari hasil pengujian metalografi untuk material roda untuk *slip roll ratio* 3% pada gambar diatas dengan pembesaran 200x terlihat arah struktur material baja karbon sedang tersebut lebih banyak bergeser dibandingkan dengan material rel (panah putih). Hal ini juga menandakan bahwa *slip roll ratio* 7% juga berpengaruh terhadap struktur material.

Setelah dilakukan analisa stuktur mikro pada *slip roll ratio* 1%, 3%, 7%, maka bisa disimpulkan bahwa hasil semakin besar *slip roll ratio* semakin besar juga regangan geser yang dialami oleh setiap material terkhusus untuk material yang diuji yaitu nikel tungsten sebagai rel dan baja karbon sedang sebagai roda.

4.5. Uji Kekerasan

Dalam penelitian ini juga dilakukan uji kekerasan untuk mengetahui perbedaan kekerasan material lapisan dengan material substrat. Uji kekerasan dilakukan di lima titik lapisan dan enam

titik di material substrat. Untuk lebih jelas berikut adalah hasil penelitian spesimen.

a. Pengujian *Slip-Roll Ratio* 1%

Berdasarkan pengujian kekerasan dengan *slip roll ratio* 1% yang telah dilakukan ternyata material lapisan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan material substrat. Nilai kekerasan material lapisan berbeda jauh dibandingkan nilai kekerasan dari material substrat. Ditungkat pertama nilai kekerasan material lapisan bernilai 334.4878335, setelah titik kedua sampai titik kelima yaitu semakin mendekati material substrat nilai kekerasannya menurun. Kemudian nilai kekerasan dari material substrat juga semakin menurun yaitu dititik enam bernilai 154.6256333 hingga titik sebelas dengan nilai yang tidak jauh berbeda dengan titik enam 157.4890102.

b. Pengujian *Slip-Roll Ratio* 3%

Berdasarkan pengujian kekerasan dengan *slip roll ratio* 3% yang telah dilakukan material lapisan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan material substrat. Sama halnya dengan pengujian kekerasan dengan *slip roll ratio* 1% nilai kekerasan material lapisan berbeda jauh dibandingkan nilai kekerasan dari material substrat. Ditungkat pertama nilai kekerasan material lapisan bernilai 979.23467, dititik kedua turun menjadi 950.7586 hingga titik kelima yaitu 741.22457 dan semakin mendekati material substrat nilai kekerasannya semakin menurun. Kemudian nilai kekerasan dari material substrat juga semakin menurun yaitu dititik enam bernilai 265.91129 hingga titik sebelas dengan nilai berbeda 239.41116.

c. Pengujian *Slip-Roll Ratio* 7%

Berdasarkan pengujian kekerasan dengan *slip roll ratio* 7% tidak jauh berbeda dengan *slip roll ratio* 1% dan *slip roll ratio* 3%. Material lapisan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan material substrat. Ditungkat pertama nilai kekerasan material lapisan bernilai 570.637119, dititik kedua turun menjadi 532.605573 hingga titik kelima yaitu 406.91358 dan semakin mendekati material substrat nilai kekerasannya semakin menurun. Nilai kekerasan di material substrat juga semakin menurun sama halnya dengan *slip roll ratio* 1% dan *slip roll ratio* 3%.

Setelah menganalisa hasil uji kekerasan dari setiap *slip roll ratio* dapat disimpulkan bahwa material lapisan nikel tungsten lebih keras dibandingkan material substrat yaitu baja karbon sedang.

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini lapisan Nikel Tungsten (Ni-W) digunakan sebagai spesimen uji keausan. Sifat material diasumsikan menyerupai rel kereta api,

maka kesimpulan penelitian ini akan mengarah pada mekanisme keausan rel.

Dengan pengujian sebanyak 40.000 siklus putaran, tekanan kontak 750MPa dan variasi rasio slip-roll, maka diperoleh keausan spesimen pada rasio 7% sebanyak 0.024 gram, 3% sebanyak 0.017 gram, dan 1% sebanyak 0.14 gram. Hal ini memperlihatkan kalau semakin besar rasio maka semakin cepat pula tegangan geser yang terdistribusi, sehingga material akan mengalami percepatan deformasi, akibat hal ini material akan cepat mengalami melewati regangan kritisnya. Disamping itu juga dari data penelitian pada rasio 1%, 3% dan 7%, laju massa yang hilang berbanding lurus dengan laju kedalaman yang hilang.

Pada foto struktur mikro, material spesimen mengalami penumpukan dipermukaan kontak yang menjelaskan terjadinya regangan geser. Semakin besar rasio yang digunakan semakin cepat material melewati regangan kritisnya dimana terlepasnya lapisan tersebut. Sehingga penumpukan dipermukaan kontak cenderung berkurang pada peningkatan rasio yang tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] Anwir dan Beumer, (1994), *Ilmu Bahan Logam Jilid I*, Bhatara Niaga Media, Jakarta
- Eliaz. N (2004), *Synthesis and characterization of nikel tungsten alloys by electrodeposition*
- [2] Iwnicki Simon, (2006), *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*, CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, USA.
- John E. Bringas, (2004), *Handbook of Comparative World Steel Standards*, ASTM International, USA.
- [3] Johnson. Kendall .L. (1985), *Contact Mechanics*. Cambridge University Press, Cambridge
- [4] Mudiastrawan Wayan Harry, (2012), “*Pengaruh Slip-Roll Ratio (1%-5%) Terhadap Keausan Baja Karbon AISI 1065*”, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali.
- [5] Pawlowski, Lech, (2008). *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings* edisi kedua , John Wiley & Sons Ltd, London
- [6] Popov L, (1996), *Contact Mechanics and Friction* Valentin. Berlin, Heidelberg
- R. Lewis dan U. Olofsson, (2004), *Mapping Rail Wear Regimes and Transitions*, Department of Engineering, University Sheffield, UK.

- [7] Smith R W, (1974) *Thermal Spray Processing of Nanocrystalline Materials*