

KETAHANAN KOROSI BAJA RINGAN DI LINGKUNGAN AIR LAUT

Andreas Surjaka Ispandriatno

Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi
Universitas Gadjah Mada
isurjaka@yahoo.co.id

Radhian Krisnaputra

Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi
Universitas Gadjah Mada
deean_krisnaputra@yahoo.com

ABSTRACT

The development of the materials for construction more rapidly. It is characterized by the increasing number of manufacturers that produce materials that has the same strength, but with a lighter weight and better durable. One ingredient that is getting a lot of use is light-weight steel. This research aims to determine the resistance of light-weight steel corrosion surrounding sea water. The testing is done by taking a light-weight steel 3 different brands, then testing to determine the layer thickness zincalume each brand. Further corrosion testing with a variety of media corrosion from seawater from three different sources, from North sea of Indonesia represented by the West Coast of Aceh, from South of Java Island represented Samas Beach, and from North of Java island represented Port of Tanjung Mas Semarang with sea water content variation dilution 10x, 50x and 100x. The results show that the condition of sea water from 3 sources test results showed no difference in the rate of mild steel corrosion layer zincalume meaning. Zincalume coated with 10 micron layer can improve the corrosion resistance of light-weight steel in sea water environments up to 4.9 compared without coating. Three brands mild steel A, B and C with zincalume layer thickness between 10 to 20 microns did not show differences in the corrosion rate of light-weight steel which means at various concentrations of sea water dilution.

Key words: corrosion, light-weight steel, sea water.

LATAR BELAKANG

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan baja sebagai bahan konstruksi bangunan mengalami pergeseran. Penggunaan profil baja berukuran besar dan tebal mulai digantikan dengan konstruksi baja ringan. Dari sisi kekuatan bangunan baja ringan cukup dapat memenuhi persyaratan. Namun dari sisi ketahanan material terhadap korosi, penggunaan baja

ringan perlu dicermati. Laju korosi baja baik baja karbon rendah maupun baja kekuatan tinggi relatif tidak berubah. Akibatnya baja ringan yang lebih tipis perlu didukung dengan lapisan penahan korosi yang mencukupi. Berbagai merk baja ringan yang ada dipasaran mempunyai spesifikasi yang berbeda, baik jenis dan ketebalan baja, maupun jenis dan ketebalan bahan pelapisnya. Tentu saja hal ini akan sangat berpengaruh terhadap ketahanan korosi material tersebut. Rangka baja ringan yang dibangun di daerah yang berdekatan dengan pantai perlu mendapat perhatian, terutama ketahanan korosi baja ringan tersebut. Salah satu perlakuan yang dilakukan pada baja ringan adalah pemberian lapisan *zincalume* pada permukaan material.

Ketahanan korosi material bangunan terutama di lingkungan yang korosif seperti air laut perlu diteliti, untuk mendapatkan perlakuan optimal yang harus diberikan pada material guna mengatasi korosi yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kandungan air laut terhadap laju korosi baja ringan yang dilapis *zincalume*. Proses pengujian dilakukan dengan mengambil baja ringan dari tiga merk berbeda, kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui tebal lapisan *zincalume* tiap merk. Selanjutnya dilakukan pengujian korosi dengan variasi media korosi dari tiga sumber air laut berbeda yaitu pantai Parang Aceh Barat, Pantai Samas Yogyakarta, dan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang dengan variasi pengenceran kandungan air laut 10x, 50x dan 100x pengenceran.

TINJAUAN PUSTAKA

Rizal M. dan Bendiyasa telah melakukan penelitian tentang efek *inhibitor* NaOH dan NaNO₃ pada korosi *mild steel* dalam lingkungan garam NaCl dengan suhu larutan 27 °C [1]. Hasil penelitian menunjukkan *inhibitor* NaOH dan NaNO₃ cukup baik dalam menghambat laju korosi logam baja lunak dalam larutan NaCl terutama pada konsentrasi larutan NaCl 1%

Möller melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi kimia baja yang dapat mengakibatkan timbulnya lapisan pelindung korosi di air laut [2]. Hasil penelitian menunjukkan, komposisi kimia dari baja akan membentuk lapisan *oxy-hidroksida* dalam lingkungan air laut, yang menghambat terjadinya korosi. Adanya porous, *crack* pada lapisan akan mengakibatkan difusi oksigen pada permukaan baja yang menyebabkan timbulnya korosi. Penambahan unsur Cr dan Mo akan membentuk lapisan yang lebih tahan korosi.

Material logam akan mengalami karat atau korosi hampir di semua lingkungan atmosfer bila kelembaban melebihi 60 %, setelah pelapisan butir-butir air terbentuk pada permukaan maka akan terjadi korosi [3]. Hal ini akan diperparah jika bahan tersebut berada di lingkungan air laut. Kandungan NaCl yang terdapat dalam air laut akan mempercepat proses korosi baja [1].

Korosi diartikan sebagai perusakan bahan karena bereaksi dengan lingkungannya [4]. Korosi juga dapat diartikan sebagai penurunan mutu logam karena adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya [5].

DASAR TEORI

Faktor logam dan faktor lingkungan merupakan faktor utama penyebab terjadinya korosi. Faktor logam disebut sebagai faktor dalam seperti komponen-komponen penyusunnya atau cacat kristal. Faktor lingkungan disebut faktor luar yang disebabkan oleh konsentrasi oksigen dalam air atau dalam udara bebas, pH, temperatur, komposisi kimia atau konsentrasi larutan.

Reaksi elektrokimia penyebab terjadinya korosi dapat dijelaskan dengan menggunakan molekul natrium klorida, yaitu reaksi-reaksi yang menggambarkan pembentukan garam dapur sebagai berikut:



Persamaan (1) menyatakan bahwa sebuah atom natrium menyerahkan sebuah elektron untuk membentuk ion natrium bermuatan positif, persamaan (2) menyatakan bahwa sebuah atom klorin menerima sebuah elektron untuk membentuk atom klorida bermuatan negatif. Reaksi-reaksi seperti persamaan (1) disebut reaksi oksidasi, sedangkan persamaan (2) disebut reaksi reduksi. Apabila suatu bahan ionik dilarutkan ke dalam air maka ion-ionnya akan memisahkan diri dan menyebar secara acak diantara molekul-molekul air. Setiap kali sebuah ion positif terbentuk, sebuah ion negatif juga

terbentuk, pernyataan ini disebut dengan prinsip elektronetralitas. Reaksi elektrokimia pada proses korosi melibatkan sistem anoda dan katoda, elektrolit dan hubungan listrik.

Pada sisi anoda terjadi reaksi oksidasi yaitu pelepasan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Reaksi ini bisa saja menghalangi pelarutan logam lebih lanjut sehingga korosi terhenti dan permukaan logam mengalami pemasifan (*passivated*).

Pada sisi katoda terjadi reaksi reduksi yaitu reaksi yang harus mengkonsumsi elektron-elektron yang dihasilkan oleh proses anoda, sehingga reaksi pada anoda dan katoda ini terjadi secara bersamaan dan tidak dapat berdiri-sendiri. Reaksi oksidasi yang terjadi pada anoda dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut:



Sedangkan reaksi reduksi yang terjadi pada katoda dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut:

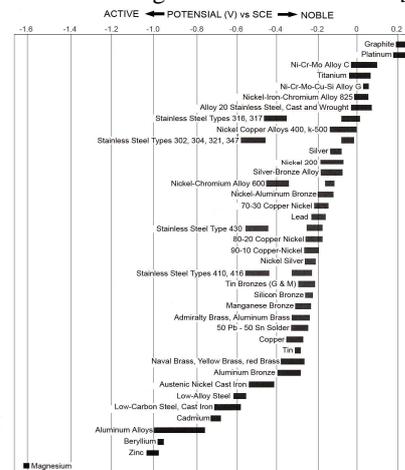


Korosi galvanik adalah korosi yang disebabkan karena adanya dua logam yang terhubung (*coupled*) dalam elektrolit yang korosif. Perbedaan potensial biasanya ada diantara dua logam tak sejenis ketika tercelup dalam larutan korosif atau konduktif. Jika logam ini dihubungkan secara elektronik, perbedaan potensial ini menghasilkan aliran elektron diantara dua logam tersebut.

Logam yang kurang resisten terhadap korosi bersifat anodik dan akan mengalami korosi, sedangkan logam yang lebih resisten terhadap korosi bersifat katodik dan terlindung dari korosi.

Kecenderungan korosi suatu logam dibandingkan logam lain ditunjukkan pada deret galvanik logam atau paduan di bawah ini.

Tabel 1. Deret galvanik dalam air laut [6].



Proteksi Katodik

Proteksi katodik dilakukan sebagai salah satu cara pencegahan korosi pada logam. Proteksi ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu:

- Metode anoda tumbal (*sacrificial anode method*)
- Metode arus terpasang (*impressed current method*)

Prinsip dasar dari perlindungan katodik ini adalah dengan menggandengkan logam yang akan kita lindungi dengan logam lain yang bersifat lebih tahan korosi, seperti seng dan aluminium. Bahan anoda yang tepat dan didistribusikan merata pada permukaan logam yang akan dilindungi akan memungkinkan polarisasi katodiknya mencapai potensial lebih negatif. Cara ini disebut anoda-anoda tumbal (*sacrificial anode*).

Bahan yang paling banyak digunakan sebagai anoda tumbal di lingkungan air laut adalah seng, tetapi seng murni yang terdapat di pasaran akan terkorosi di air laut sambil membentuk selapis kulit kedap air yang membatasi keluaran arus. Dari beberapa jenis bahan, besi paling menimbulkan efek merusak terhadap anoda karena kelarutannya dalam seng yang rendah, sehingga jika berlebihan akan membentuk seng hidroksida atau seng karbonat yang tidak dapat larut dan mengakibatkan anoda tidak efektif. Dalam hal ini penambahan aluminium menguntungkan, karena mengakibatkan terbentuknya antar logam aluminium atau besi yang lebih tidak mulia, sehingga mengurangi efek sel korosi lokal.

Perhitungan Laju Korosi

Pengujian laju korosi dengan tipe tiga sel elektroda didasarkan pada metode ekstrapolasi tafel. Pengujian ini menggunakan tiga elektroda (Gambar 1), yaitu :

- Elektroda kerja (*working electrode*).

Elektroda kerja sebagai elektroda yang akan diteliti, adalah pengganti dari anoda karena penelitiannya tidak terbatas hanya pada perilaku yang bersangkutan dengan anoda tetapi juga menyelidiki tentang perilaku katoda.

- Elektroda pembantu (*counter or auxiliary electrode*).

Elektroda pembantu adalah elektroda kedua yang khusus untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian. Elektroda ini tidak digunakan untuk mengukur potensial. Platina, emas dan titanium dapat digunakan sebagai bahan elektroda pembantu.

- Elektroda acuan (*reference electrode*).

Elektroda acuan adalah elektroda yang digunakan sebagai titik dasar yang sangat mantap untuk mengacu pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda

ini kecil sekali sehingga dapat diabaikan. Elektroda acuan yang sering digunakan adalah elektroda kalomel jenuh. Ketiga elektroda tersebut dicelupkan di dalam larutan elektrolit pada tabung elektrokimia dan terhubung dengan potensiostat atau galvanostat.

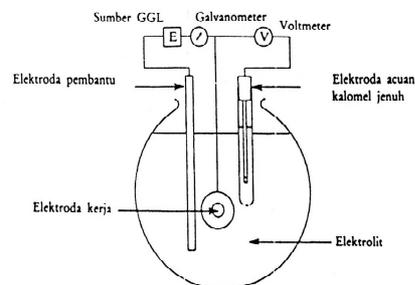
Proses korosi dimulai dengan pemberian potensial pada elektroda kerja dari -2000 mV sampai dengan 2000 mV dan di-scanning dengan kecepatan tertentu kemudian diplot pada diagram kurva potensial lawan logaritma intensitas arus. Proses yang terjadi pada elektroda kerja adalah sebagai berikut :

- Elektroda kerja diberi potensial negatif (polarisasi katodik).

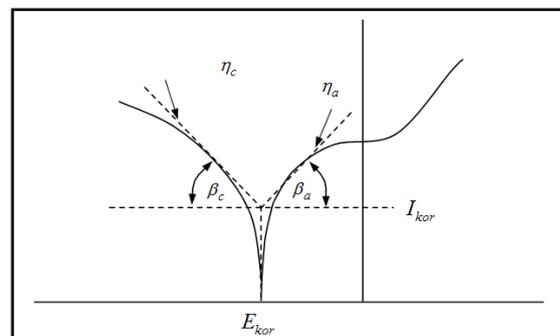
Elektroda kerja mengalami reaksi reduksi yang ditunjukkan dengan gradien negatif pada grafik sebelah kiri. Reaksi ini terjadi saat diberi potensial sebesar -2000 mV dan diperbesar sampai dengan arus reduksi mencapai nol pada potensial korosi (ekor) tertentu. Proses reduksi berakhir ketika arus mencapai nilai nol.

- Elektroda kerja diberi potensial positif (polarisasi anodik).

Elektroda kerja mengalami reaksi oksidasi setelah reaksi reduksi berakhir, ditunjukkan dengan gradien positif pada grafik sebelah kanan. Reaksi ini terjadi saat diberi potensial dan arus yang semakin besar. Potensial yang biasanya diberikan sampai dengan 2000 mV.



Gambar 1. Skema alat uji korosi tipe sel tiga elektroda [5].



Gambar 2. Grafik kurva potensial versus log intensitas arus.

Rapat arus korosi (i_{kor}) diperoleh dari hasil ekstrapolasi kurva potensial lawan logaritma intensitas arus yaitu dengan cara menentukan titik perpotongan garis tafel reaksi reduksi (β_a) dan garis tafel reaksi oksidasi (η_a) pada garis potensial korosi (E_{kor}). Nilai β_a dan η_a ditentukan dengan persamaan berikut [7] :

$$\eta_a = \beta_a \log \frac{i_a}{i_0} \quad (5)$$

$$\eta_c = \beta_c \log \frac{i_c}{i_0} \quad (6)$$

Keterangan :

- η_c = tafel reaksi reduksi
- η_a = tafel reaksi oksidasi
- i_c = arus pada reaksi katoda
- i_a = arus pada reaksi anoda
- i_0 = arus saat perubahan reaksi-reduksi menuju reaksi oksidasi = $i_a = -i_c = i_{kor}$
- β_c = gradien tafel reaksi katoda
- β_a = gradien tafel reaksi anoda

Penentuan harga rapat arus korosi secara tepat sangat diperlukan, karena rapat arus korosi sebanding dengan laju korosi suatu logam dalam medium/lingkungannya, hal ini sesuai dengan persamaan laju korosi dalam mils (0,001 inchi) per year (mpy) seperti di bawah ini [7]:

$$r = 0,129 \frac{ai}{nD} \quad (7)$$

Keterangan :

- r = laju korosi (mpy)
- a = berat atom
- i = rapat arus korosi ($\mu A/cm^2$)
- n = valensi atom
- D = berat jenis sampel (gr/cm^3)

Perhitungan laju korosi untuk paduan, perlu dihitung terlebih dahulu berat equivalennya (*equivalen weight*) dengan persamaan [2]:

$$EW = N_{EQ}^{-1} \quad (8)$$

$$N_{EQ} = \sum \left(\frac{\omega_i}{a_i/n_i} \right) = \sum \left(\frac{\omega_i n_i}{a_i} \right) \quad (9)$$

Keterangan:

- EW = berat equivalen
- N_{EQ} = nilai equivalen total
- ω_i = fraksi berat
- a_i = nomor massa atom
- n_i = elektron valensi

maka persamaan menjadi:

$$r = 0,129 \frac{i(EW)}{D} \quad (10)$$

Perilaku pelapisan dengan logam dipengaruhi banyak faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain sifat elektrolit, konsentrasi oksigen, luas relatif anoda dan katoda dan endapan permukaan pada lapisan. Pada lapisan anoda tumbal konduktivitas dan kontinuitas elektrolit akan menentukan ukuran cacat permukaan yang masih diperbolehkan agar korosi tidak terjadi.

Umur efektif lapisan bergantung pada ketebalan dan lingkungannya. Pada pelapisan seng yang tipis, akan lebih memungkinkan tergoresnya lapisan, sehingga mengakibatkan lapisan akan hilang dan logam yang dilapisi akan terserang korosi.

Lapisan *zincalume* pada permukaan baja ringan berfungsi sebagai tumbal saat terjadi korosi. Korosi akan terjadi terlebih dahulu pada lapisan tersebut, hingga lapisan tersebut habis, setelah itu barulah korosi menyerang baja. Faktor lingkungan air laut dengan kandungan NaCl di dalamnya akan berpengaruh terhadap kecepatan korosi.

TUJUAN PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pengujian eksperimental untuk mengetahui pengaruh kandungan air laut terhadap laju korosi berbagai jenis baja ringan yang ada di pasaran. Air laut yang digunakan sebagai media korosi diambil dari tiga tempat yang berbeda, yaitu Pantai Aceh Barat, Pantai Samas Yogyakarta, dan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang dengan variasi pengenceran kandungan air laut 10x, 50x, dan 100x pengenceran. Pengaruh tersebut hendak diwujudkan dalam bentuk grafik laju korosi atau ketahanan korosi material pada berbagai persentase pengenceran air laut.

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh kandungan air laut terhadap laju korosi baja ringan dengan pelapis tahan korosi *zincalume*.

CARA PENELITIAN

Sarana prasarana yang digunakan dalam penelitian ini (baik perangkat keras maupun perangkat lunak) adalah:

1. Mesin *Electric Discharge Machine*.
2. *Coating Thickness Gage*.
3. *Micrometer*.
4. *Spectrometer* untuk pengujian komposisi kimia bahan benda kerja.
5. *Potensiostat* untuk mengukur besaran arus korosi.

Sedangkan bahan yang digunakan adalah:

1. Baja ringan berbagai merk (diambil tiga merk yaitu A, B dan C).
2. Air laut dari berbagai pantai (tiga tempat)

Langkah – langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mula – mula dilakukan pengujian *spectrometry* untuk mengetahui komposisi kimia baja ringan yang telah dilapisi. Pengujian dilakukan di laboratorium PT. Karya Hidup Sentosa (Yogyakarta).
2. Dilakukan pengukuran ketebalan material dengan *dial caliper* dan pengukuran ketebalan lapis lindung dengan *coating thickness gage*.
3. Dilakukan pengujian korosi dengan alat *Potensiostat* yang dilakukan di Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Yogyakarta. Pengujian ini dilakukan dengan mengkorosi material baja ringan dari tiga merk yang berbeda dengan variasi media korosi dari tiga sumber air laut berbeda yaitu pantai perairan Aceh Barat, Pantai Samas Yogyakarta, dan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang dengan variasi pengenceran kandungan air laut 10x, 50x dan 100x.
4. Terakhir dilakukan olah data dengan metode statistik untuk mendapatkan pengaruh ketebalan lapis lindung *Zincalume* dari tiga merk baja ringan terhadap ketahanan korosi di lingkungan air laut.

HASIL PENELITIAN

Hasil Pengujian ketebalan material, ketebalan lapisan *zincalume*, kekuatan tarik material serta kandungan unsur material dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari hasil pengukuran ketebalan material didapat bahwa baik material merk A, B maupun C mempunyai ketebalan yang sama yaitu 1,0 mm, sedangkan lapisan *zincalume* pada material merk A mempunyai ketebalan 21,58 μm atau hampir dua kali lebih tebal dibanding material merk B maupun C yang ketebalan lapisannya 13,13 μm dan 12,83 μm .

Kandungan unsur yang hampir sama yaitu 0,95%C untuk ketiga material memberikan hasil uji kekuatan tarik yang hampir sama sebesar 60 kg/mm². Kekuatan tarik sebesar ini menyebabkan baja tersebut dapat menahan kekuatan lebih besar dibanding baja konstruksi pada umumnya. Dengan demikian dapat dibuat struktur rangka baja yang lebih tipis sehingga keseluruhan rangka baja menjadi lebih ringan.

Tabel 2. Karakteristik Material Baja Ringan.

Merk	Tebal (mm)	Tebal Lapisan (μm)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Kandungan Unsur (%)
A	1,06	21,58	59,7	0,93 C; 0,86 Si
B	1,04	13,13	56,7	0,95 C; 2,01 Si
C	1,02	12,83	61,7	0,95 C; 0,95 Si

Kandungan unsur yang terdapat pada air laut yang diambil dari pantai Aceh, Tanjung Mas dan Samas menunjukkan kandungan natrium khlorida (NaCl) yang hampir sama yaitu sekitar 3% (Tabel 3). Kandungan NaCl ini yang akan sangat mempengaruhi laju korosi material dalam lingkungan air laut. Meskipun pada kenyataannya masih ada faktor lain yang akan berpengaruh pada saat baja ringan lapis *zincalume* dipasang seperti suhu udara, kelembaban, angin, cuaca dan sebagainya.

Tabel 3. Kandungan NaCl pada Air Laut.

Pantai	Kandungan NaCl
Aceh	3,00%
Tanjung Mas	2,98%
Samas	3,09%

Hasil pengujian laju korosi material dapat dilihat pada grafik tersebut di bawah ini:



Gambar 3. Grafik Laju Korosi Baja Ringan A (TL: Tanpa Lapisan; L: Dengan Lapisan).



Gambar 4. Grafik Laju Korosi Baja Ringan B (TL: Tanpa Lapisan; L: Dengan Lapisan).



Gambar 5. Grafik Laju Korosi Baja Ringan C (TL: Tanpa Lapisan; L: Dengan Lapisan)

PEMBAHASAN

Pengujian pada material tanpa lapisan dan dengan lapisan menunjukkan bahwa material dengan lapisan *zincalume* mempunyai ketahanan korosi lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan pada laju korosi yang semakin rendah yaitu 0,02 mm/year untuk material merk A dengan lapisan pada pengenceran air laut dari pantai Samas 100x dan 0,08 mm/year pada material tanpa lapisan. Ketahanan korosi material merk A meningkat hingga 3,8 kali pada ketebalan lapisan *zincalume* 21,58 μm . Makin besar konsentrasi air laut makin tinggi pula laju korosinya hingga mencapai 0,16 mm/year pada pengenceran air laut 10x.

Pengujian dengan air laut yang berbeda tidak menampakkan adanya perbedaan laju korosi yang berarti. Untuk kondisi air laut dari pantai Tanjung Mas Semarang menunjukkan laju korosi sebesar 0,15 mm/year (dengan lapisan) dan 0,19 mm/year (tanpa lapisan) pada pengenceran air laut 10x. Sedangkan Pengujian dengan pengenceran air laut 10x dari pantai Aceh laju korosi 0,38 mm/year tanpa lapisan dan 0,11 mm/year dengan lapisan. Peningkatan Ketahanan Korosi (PKK) material merk A dengan air laut dari Aceh mencapai rata-rata 4,9x pada material dengan lapisan *zincalume*.

Pada material merk B dihasilkan harga laju korosi yang hampir sama dengan pengujian pada material merk A. Pengujian pada material tanpa

lapisan dan dengan lapisan menunjukkan bahwa material dengan lapisan *zincalume* mempunyai ketahanan korosi sedikit lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan pada laju korosi yang semakin rendah yaitu 0,29 mm/year untuk material merk B tanpa lapisan dan 0,21 mm/year pada material dengan lapisan *zincalume* 13,13 μm . Ketahanan korosi material merk A meningkat hingga 2 kali pada pengujian dengan air laut pantai Tanjung Mas Semarang dan menungkat 2,7x pada pengujian dengan air laut dari pantai Aceh.

Demikian juga pengujian laju korosi pada material merk C juga menunjukkan hasil pengujian yang hampir sama dengan hasil pengujian pada material merk A maupun merk B. Pengujian pada material tanpa lapisan dan dengan lapisan menunjukkan bahwa material merk C dengan lapisan mempunyai ketahanan korosi lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan pada Peningkatan ketahanan korosi yang mencapai 1,5x pada pengujian dengan air laut pantai Samas hingga 2,2x pada pengujian dengan air laut pantai Aceh. Pengujian dengan air laut yang berbeda tidak menampakkan adanya perbedaan laju korosi yang berarti.

Dari data dapat dilihat bahwa untuk ketiga tempat yang berbeda tidak terlihat adanya perbedaan yang mencolok atas hasil pengukuran laju korosi. Artinya di ketiga tempat tersebut air laut potensial meningkatkan laju korosi. Hal ini didukung dengan data bahwa air laut dari ketiga tempat mengandung unsur yang hampir sama terutama *chloride* yang bersifat korosif. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa laju korosi baja ringan di daerah pantai lebih tinggi dibandingkan dengan laju korosi baja ringan di dataran yang jaraknya lebih dari 5 km [8]. Perbedaan ketebalan lapisan *zincalume* pada material merk A (20 μm) tidak menunjukkan perbedaan laju korosi yang berarti dibanding dengan material merk B dan merk C yang mempunyai ketebalan 10 μm .

KESIMPULAN

1. Ketahanan korosi baja ringan dilapis *zincalume* dengan ketebalan lapisan 10–20 μm di lingkungan air laut dapat meningkat hingga 4,9 kali lipat dibandingkan dengan material baja ringan tanpa lapisan.
2. Kondisi air laut dari Pantai Aceh, Pantai Tanjung Mas Semarang dan Pantai Samas Yogyakarta tidak menunjukkan perbedaan hasil pengujian laju korosi baja ringan lapis *zincalume* yang berarti.
3. Perbedaan ketebalan lapisan *zincalume* tidak menunjukkan perbedaan laju korosi baja ringan yang berarti yaitu berkisar 0,10 sampai dengan 0,16 mm/year pada pengenceran air laut 100x.

REFERENSI

- [1] Rizal, M. dan Bendiyasa, 2004, "Efek inhibitor NaOH dan NaNO₃ pada korosi Mild Steel dalam lingkungan garam NaCL dengan suhu larutan 27⁰ C", Forum Teknik.
- [2] Möller, H., 2006, "The Corrosion Behaviour of Steel in Sea Water", The Shouthern African Institute of Mining and Metallurgy 8th., International Corrosion Conference.
- [3] Widharto, S., 2001, *Karat dan Pencegahannya*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [4] Fontana, M.G., 1987, *Corrosion Engineering*, Third edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [5] Keneth, R.T., Chamberlain, J., 1997, *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [6] Trethewey, K.R. dan Chamberlain, J., 1991, *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, PT. Gramedia Pustaka Pratama, Jakarta.
- [7] Jones, D.A., 1991, *Principles and Prevention of Corrosion*, McMillan Publishing Company, New York.
- [8] Surjaka, A., 2008, "Korosi Pada Bangunan Kontruksi Baja di Daerah Bencana Aceh", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna Penanganan Sarana Prasarana di Indonesia L.1-10.

VARIASI PERUBAHAN PUTARAN PADA PENGECORAN ALUMINIUM BENTUK PULI DENGAN METODE *CENTRIFUGAL CASTING* TERHADAP PENINGKATAN KEKUATAN MEKANIK

Nugroho Santoso
Teknik Mesin SV UGM
Nugroho25@yahoo.co.id

Widia Setiawan
Teknik Mesin SV UGM
Widia_Setiawan64@yahoo.co.id

ABSTRAK

Aluminium bekas adalah bahan baku coran yang sering digunakan pada industri coran di wilayah Yogyakarta untuk memproduksi komponen kendaraan bentuk pelek. Permasalahan yang sering dihadapi pengrajin coran aluminium yang menggunakan cetakan logam adalah sering terjadinya cacat coran dan kualitas coran yang kurang baik. Penelitian difokuskan pada pengaruh gaya sentrifugal pada pengecoran metode *centrifugal casting* bertujuan meningkatkan kualitas material hasil coran. Tahapan proses penelitian adalah memotong material, melebur pada temperatur 750 °C, pengaturan putaran cetakan 0, 263, 700 rpm, temperatur cetakan 200 °C penuangan dan pembongkaran hasil. Dari hasil pengamatan dan analisa pengujian diketahui bahwa pada putaran 280, 700 rpm dapat mencegah cacat penyusutan luar dan peningkatan kekuatan. Nilai kekerasannya meningkat dari 66,15, 67,15, 71,8 BHN, kekuatan tariknya meningkat dari 127,68, 139,70 hingga 147,95 MPa serta nilai densitasnya juga meningkat 2,58, 2,63 hingga 2,7 gr/cm³.

Kata kunci: *Centrifugal casting*, kekuatan mekanik

LATAR BELAKANG

Aluminium bekas adalah bahan baku coran yang sering digunakan pada industri coran di wilayah Yogyakarta untuk memproduksi berbagai macam peralatan rumah tangga seperti panci, wajan, ketel, cetakan roti dan komponen kendaraan seperti pelek, stang,udukan kaki dan lain-lain. Permasalahan yang sering dihadapi pengrajin coran aluminium yang menggunakan cetakan logam dan proses pengecoran dengan metode gravitasi adalah sering terjadinya cacat coran. Cacat coran tersebut diantaranya adalah cacat salah alir (*misrun*), rongga udara (*blow hole*) dan rongga penyusutan yang mana cacat coran tersebut akan memberikan pengaruh pada kualitas coran yang kurang baik. Peningkatan kualitas produk

coran biasanya dilakukan dengan penambahan inoculan dan peningkatan yang lainnya dengan perbaikan prosesnya selama pengecoran. Penelitian menganalisa pengaruh gaya sentrifugal yang berkaitan dengan prosesnya memberikan pengaruh terhadap pengurangan cacat coran dan peningkatan kekuatan mekanik material hasil coran. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengrajin coran dalam mengurangi cacat coran yang terjadi serta meningkatkan kualitas produk coran dengan adanya proses pengecoran cara sentrifugal

TINJAUAN PUSTAKA

Perbaikan metode pengecoran terus dilakukan untuk menghasilkan produk coran yang berkualitas, salah satu metode pengecoran yang peneliti lakukan adalah metode pengecoran sentrifugal. Metode ini memanfaatkan putaran untuk menghasilkan gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran cetakan akan menyebabkan logam cair yang dituang terdorong menjauhi sumbu putar dan menuju jari-jari terjauh cetakan dan menghasilkan pengisian rongga cetakan lebih sempurna [1].

Besar kecepatan putar akan memberikan pengaruh terhadap kerataan bentuk, pada putaran 800 rpm akan terbentuk silinder yang *uniform*, dibawah atau diatas 800 rpm terbentuk silinder yang tidak rata [2]. Dorongan logam cair yang dihasilkan oleh gaya sentrifugal ini juga membantu mengurangi cacat lubang jarum dan rongga penyusutan (*shrinkage*) yang umum terjadi pada saat pembekuan berlangsung [3]. Hal ini karena logam cair akan terus terdorong dan mengisi kekosongan yang disebabkan oleh penyusutan. Pengaruh gaya sentrifugal, temperatur cetakan, dan kecepatan pendinginan terhadap cacat lubang penyusutan, menunjukkan bahwa pada putaran 469 rpm, temperatur cetakan 450 °C, waktu pendinginan antara 6,19 detik dan 26,42 detik maka *porosity* yang timbul 0,294 % dan pada temperatur cetakan 650 °C waktu pendinginan antara 42,25 detik

dan 52,67 detik maka *porosity* yang timbul 0,124 %, karena pada tempertur 650 °C pendinginannya lebih *uniform* atau merata [4].

Cetakan yang disiapkan untuk pengecoran sentrifugal umumnya tidak memiliki *riser* atau hanya menggunakan *riser* yang kecil, inti (*core*) tidak digunakan pada proses ini [5]. Pada cairan aluminium dengan penambahan 20 % partikel SiC atau ZHO₄ terdistribusi merata di sekeliling bagian luar silinder dan bagaian dalam adalah *alumina oxide* karena adanya gaya sentrifugal. Partikel SiC mampu meningkatkan penghalusan *α primary* selama proses pendinginan [6].

DASAR TEORI

Pengecoran sentrifugal dilakukan dengan jalan menuangkan cairan logam ke dalam cetakan yang berputar sehingga dihasilkan coran yang mampat karena pengaruh gaya sentrifugal [7]. Pada pengecoran sentrifugal, cetakan berputar pada kecepatan antara 300–3000 rpm pada posisi horisontal, vertikal pada waktu logam cair dituang. Pengecoran sentrifugal sudah sejak lama dikenal sebagai cara yang murah untuk menghasilkan produk berbentuk tabung dan silinder. Pengecoran sentrifugal memiliki beberapa keuntungan diantaranya adalah: kualitas coran yang lebih baik karena adanya tekanan dihasilkan dari gaya sentrifugal pada saat logam cair membeku, lebih ekonomis dibanding dengan cara lain karena tidak diperlukan inti dan saluran pengalir serta pengotor atau terak dapat berkumpul di pusat coran dapat dihilangkan dengan pemesinan [5]. Kelemahan metode sentrifugal adalah bentuk produk corannya terbatas hanya bentuk tabung dan silinder, Sedangkan besar gaya sentrifugal yang terjadi pada titik tertentu pada posisi penampang adalah, sebagai berikut [3]:

$$F = m v^2/r \quad (1)$$

atau

$$(\omega r)^2 = m\omega^2 r$$

dengan:

m = masa (kg),

v = *peripheral speed* (m/s),

r = radius (m),

ω = kecepatan putar angular (rad/s),

g = percepatan gravitasi (m/s²).

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan meminimalkan cacat salah alir, rongga penyusutan dan rongga udara serta

memperbaiki kualitas produk coran *pulley* dengan metode pengecoran sentrifugal.

CARA PENELITIAN

Material yang digunakan pada proses penelitian ini adalah pelek bekas material aluminium seri A 356. Tahapan penelitian yang dilakukan membuat model coran bentuk puli tahapan Pembuatan mesin sentrifugal sederhana, pembuatan cetakan puli, pemanasan cetakan 200 °C, peleburan material pelek temperature 750 °C, penuangan cairan pada cetakan tanpa putaran dan dengan putaran 263 rpm dan 700 rpm, pembongkaran cetakan, analisa coran dan uji mekanik.

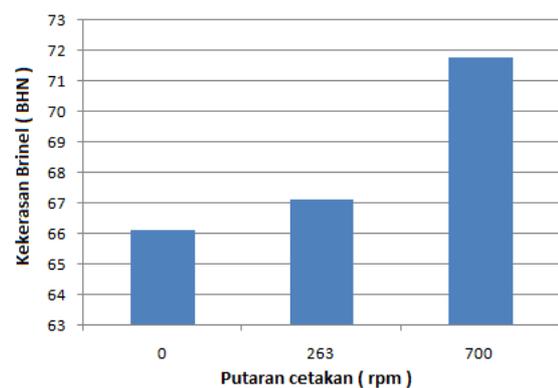
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Gaya sentrifugal yang mendorong cairan logam menjahui sumbu putarnya menuju dinding cetakan dan terdistribusi merata di sekeliling dinding cetakan dan terjadi pemampatan. Proses pemampatan ini meminimalkan rongga rongga yang terjadi pada coran, hal ini akan meningkatkan *density* (Tabel 1).

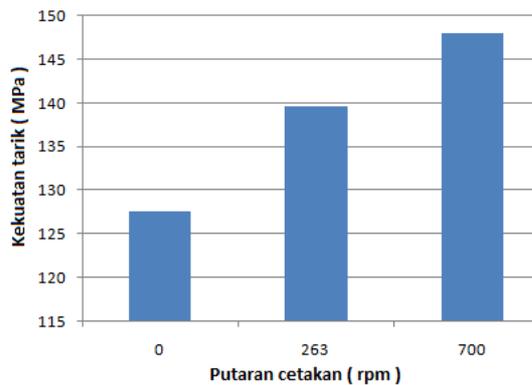
Tabel 1 Hasil pengukuran *density* coran

No	Benda coran	Massa (gram)	Volume (cm ³)	<i>Density</i> gram/cm ³
1	Non putaran	444	172	2,58
2	Putaran 263 rpm	442	168	2,63
3	Putaran 700 rpm	378	140	2,70

Grafik uji kekerasan dan kekuatan tarik:



Gambar 1. Pengaruh variasi putaran cetakan terhadap nilai kekerasannya.



Gambar 2. Pengaruh variasi putaran cetakan terhadap nilai kekuatan tariknya.

Gaya sentrifugal terhadap coran akan menghasilkan coran yang mampat atau padat sehingga cacat – cacat seperti rongga penyusutan dan rongga udara bisa diminimalkan. Pengurangan cacat ini akan berpengaruh terhadap kekuatan mekaniknya. Artinya semakin besar putaran, maka hasil coran juga akan semakin meningkat kekerasan dan kekuatan tariknya. Data hasil pegujian menunjukkan peningkatan kekerasan dari 66,15 BHN, 67,15 BHN hingga 71,8 BHN. Kekuatan tariknya meningkat dari 127,68 MPa menjadi 147,95 MPa.

KESIMPULAN

Gaya sentrifugal pada coran *pulley* pada putaran 0 rpm, 263 rpm dan 700 rpm meningkatkan kekuatan mekaniknya. Semakin besar putaran akan memperbesar gaya sentrifugal, sehingga hasil coran akan semakin meningkat densitasnya dari 2,58, 2,63 hingga 2,7 gr/cm³. Kekerasan dan kekuatan tariknya juga meningkat. Data menunjukkan peningkatan kekerasan dari 66,15 BHN, 67,15 BHN hingga 71,8 BHN dan peningkatan nilai kekuatan tarik dari 127,68 MPa, 139,70 MPa hingga 147,95 MPa.

REFERENSI

- [1] Jorstad, J.L., Rasmussen, W.M., 1993, *Aluminum Casting Technology*, American Foundrymen's Society, Inc.
- [2] Mukunda, P.G., Rao, Shailesh, A., Rao, Shrikantha, S., 2010, "Influence of Rotational Speed of Centrifugal Casting Process on Appearance, Microstructure, and Sliding Wear Behaviour of Al-2Si Cast Alloy", *Met. Mater. Lnt.*16(1): 137-143.
- [3] Joshi, A.M., 2002, *Aluminium Foundry Practice*, Dept. Of Metallurgical Engg. And Material Science, Indian Institute of Technology Bombay.
- [4] Vassiliou, D., Pantelis, D.I., Vosniakos, G.C., 2008, "Investigation of Centrifugal Casting Conditions Influence on Part Quality", *ICMEN*, 347-356.
- [5] Banga, T.R., Agarwal, R.L., Manghnani, T., 1981, *Foundry Engineering*, Khanna Publishers, New Delhi.
- [6] Kai, W., Han-song, X., Mao-hua, X., Chang-ming, L., 2009, "Microstructural Characteristics and Propeties in Centrifugal Casting of SiCp/Z1104 Composite", *Trans. Nonferrous. Met. Soc.China*, 19: 1410-1415.
- [7] Surdia, T., Chijiwa K., 1982, *Teknik Pengecoran Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

VARIASI PENAMBAHAN FLUK UNTUK MENGURANGI CACAT LUBANG JARUM DAN PENINGKATAN KEKUATAN MEKANIK

Bambang Suharnadi
Program Diploma Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM
suharnadi@ugm.ac.id

Nugroho Santoso
Program Diploma Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM
nugsan25@yahoo.co.id

ABSTRAK

Aluminium bekas adalah bahan baku coran yang sering digunakan pada industri coran di wilayah Yogyakarta untuk memproduksi berbagai macam peralatan rumah tangga dan komponen kendaraan. Permasalahan yang sering dihadapi pengrajin coran aluminium yang menggunakan cetakan logam adalah sering terjadinya cacat coran terutama cacat lubang jarum dan kualitas coran yang kurang baik. Dianalisa pengaruh variasi penambahan fluk bertujuan meminimalkan cacat lubang jarum dan meningkatkan kualitas material hasil coran. Tahapan proses penelitian adalah memotong material, melebur pada temperatur diatas 700 °C, memanaskan cetakan, penambahan fluk pada cairan logam, penuangan, pembongkaran hasil coran, pemeriksaan coran, analisa kekuatan coran dengan uji tarik, kekerasan, menunjukkan peningkatan kekuatannya pada penambahan fluk 1% Na₂CO₃ dan 2 % NaCl serta jumlah cacat lubang jarum lebih sedikit dibandingkan tanpa tambahan fluk. Spesimen dengan penambahan 1% fluk Na₂CO₃ dan 2% fluk NaCl memiliki kekuatan tarik yang paling besar dengan nilai sebesar 150 MPa dan 133 MPa dan memiliki nilai kekerasan 157,4 BHN dan nilai kekerasan 161 BHN, dibandingkan dengan spesimen tanpa fluk.

Kata kunci: fluk, pengecoran, cacat lubang jarum, kekuatan mekanik.

LATAR BELAKANG

Aluminium banyak digunakan dalam industri cor seperti pembuatan komponen otomotif dan komponen yang lainnya, karena aluminium mempunyai banyak sifat yang menguntungkan, diantaranya aluminium mempunyai ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang

baik lainnya sebagai sifat logam. Aluminium murni memiliki temperature lebur 660° C.

Pada pengecoran, cacat coran sangat sulit dihindari dan cacat yang sering terjadi pada bahan aluminium adalah cacat lubang jarum. Umumnya ukuran cacat lubang jarum ini antara 1 mm sampai 2 mm, sangat kecil sama seperti bekas tusukan jarum. Penyebab cacat lubang jarum sama dengan cacat rongga udara yaitu terutama karena cetakan yang lembab dan banyak gas yang terjebak dalam cetakan.

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk meningkatkan kualitas material pada umumnya diberi inoculan yaitu penambahan logam lain atau paduan dalam jumlah yang sangat kecil kedalam cairan logam sebelum dituang [1]. Pada material ingot aluminium AC2B pemberian inoculan Al Ti-B kadar 0,05–0,8 % akan meningkatkan nilai fluiditas dan nilai fluiditas optimum dicapai pada penambahan AlTi-B 0,6 % [2]. Perlakuan yang dilakukan yaitu dengan penambahan inoculan ke dalam paduannya. Elemen yang ditambahkan untuk proses penghalus butir (*grain refining*) antara lain Titanium (Ti), Boron (B) dan Zirkonium (Zr) atau gabungannya. Penambahan unsur-unsur tersebut menciptakan inti (*nucleus*) atau benih titanium borida, titanium karbida, aluminium borida, atau senyawa intermetalik kompleks lainnya dalam cairan logam [3]. *Grain refining* adalah suatu proses untuk menghaluskan ukuran dan bentuk butir logam menjadi lebih kecil dan homogen dengan melakukan perlakuan terhadap cairan logam pada saat proses pengecorannya [4].

DASAR TEORI

a. Material Aluminium

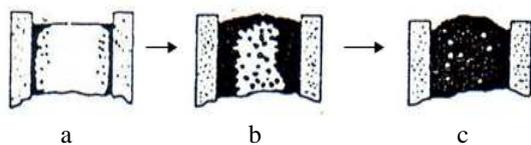
Paduan Al-Si sangat baik kecairannya dan mempunyai permukaan yang bagus, dan baik untuk paduan coran. Sebagai tambahan paduan ini

mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang kecil dan sebagai penghantar yang baik untuk listrik dan panas. Karena kelebihan tersebut, maka paduan ini sangat banyak dipakai.

Paduan Al-Si dengan 12% Si sangat banyak dipakai untuk paduan cor cetak. Diagram fasa menunjukkan fasa yang ada pada suhu tertentu atau komposisi paduan pada keadaan setimbang. Diagram fasa Al-Si ini adalah tipe eutektik yang sederhana yang mempunyai titik eutektik 577 °C, 11,7 % Si, karena batas kelarutan sangat kecil maka pengerasan permanen sukar diharapkan. Aluminium A 356 dengan kandungan Si 6,5 % sampai 7,5 % , Mg 0,2 % sampai 0,45 % memiliki sifat mampu tuang yang baik, mampu mesin, mampu las, tahan korosi, mampu dilapisi (*electroplating*) dan *polishing*.

b. Cacat Lubang Jarum

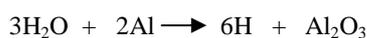
Umumnya ukuran cacat lubang jarum ini antara 1 sampai 2 mm, sangat kecil sama seperti bekas tusukan jarum. Penyebab cacat lubang jarum sama dengan cacat rongga udara yaitu terutama karena cetakan yang lembab dan banyak gas terjebak dalam cetakan. Proses terjebaknya gas hidrogen dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 1. Proses terjadinya cacat lubang jarum.

- Ketika logam cair mulai membeku, gelembung gas hidrogen mulai terbentuk di daerah sekitar dinding cetakan, karena bagian tersebut yang lebih dulu membeku.
- Gelembung gas terus terbentuk selama pembekuan berlangsung. Gelembung tidak dapat keluar karena bagian atas coran telah membeku.
- Setelah semua bagian membeku, gelembung udara terjebak dan akhirnya membentuk rongga udara.

Berikut adalah reaksi terbentuknya gas hidrogen pada pengecoran aluminium:



Uap air + Aluminium \rightarrow Hidrogen + Terak

Kemudian ketika dua buah atom H beraksi membentuk sebuah molekul yaitu gas hidrogen, gas

tersebut dapat melepaskan diri namun masih bisa terjebak dalam bentuk gelembung udara.

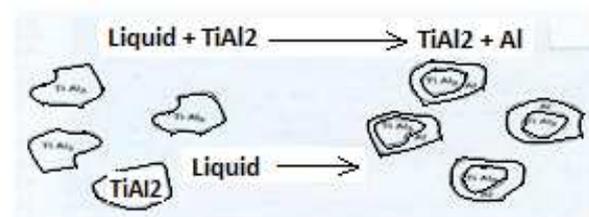


Penyebab lain terjadinya cacat lubang jarum yaitu cairan logam terkandung hidrogen yang menyebabkan lubang jarum. Cacat lubang jarum di coran ini terdapat pada permukaan coran. Salah satu cara pencegahannya adalah pemberian inokulan ke dalam cairan logam.

c. Penambahan inokulan pada logam cair

Inokulasi adalah penambahan unsur atau paduan tertentu ke dalam logam cair sehingga meningkatkan nilai fluiditas atau mampu alir dari material, mengurangi porositas, mengurangi retak memanjang (*hot tearing tendency*). Setiap penambahan unsur maupun paduan ke dalam logam cair ada titik optimumnya dimana pada penambahan tertentu nilai fluiditas dan nilai-nilai yang lain dari material tidak meningkat tetapi justru menurun. Perlakuan pada logam cair dapat dilakukan dengan penambahan Ti-B untuk memperhalus struktur butir (*grain refining*).

Mekanisme pembentukan inti dimulai terbentuknya inti – inti senyawa Ti Al₂ dalam cairan aluminium dan selama pendinginan berlangsung disekeliling inti senyawa Ti Al₂ cairan aluminium mendingin membentuk butir-butir dan butir – butir saling bersentuhan membentuk batas butir dan terbentuk butir – butir yang halus dan proses pembentukan butir berakhir



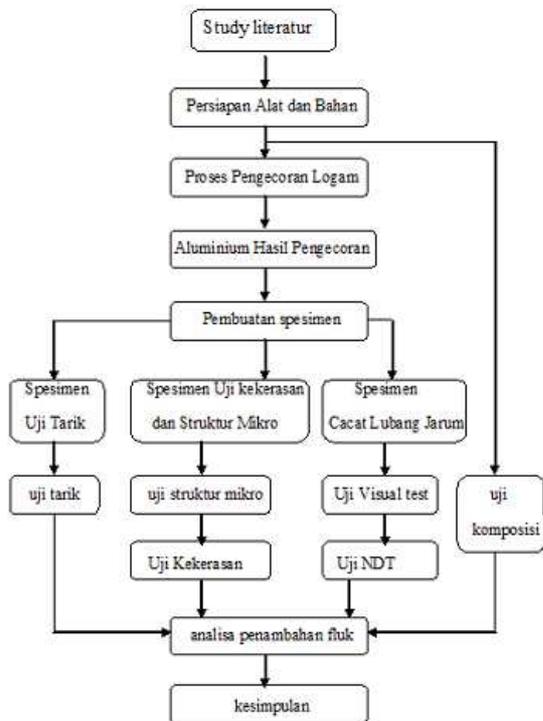
Gambar 2. Mekanisme pembentukan inti.

TUJUAN PENELITIAN

Analisa sifat fisis dan mekanis dari material Aluminium A356 dilakukan dengan menambahkan fluk pada cairan logam yang akan dituang bertujuan meminimalkan cacat lubang jarum. Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat pada industri pengecoran logam serta menambah wawasan bagi para praktisi dalam bidang pengecoran.

CARA PENELITIAN

Diagram alir cara penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Flow chart penelitian.

Prosedur penelitian

1. Persiapan peleburan, cetakan, fluk, timbangan.
2. Peleburan aluminium.
3. Setelah cair pemberian fluk setelah ditimbang.
4. Pengadukan.
5. Penuangan.
6. Pelepasan coran.
7. Pengujian mekanik dan struktur mikro serta *dye penetrant*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

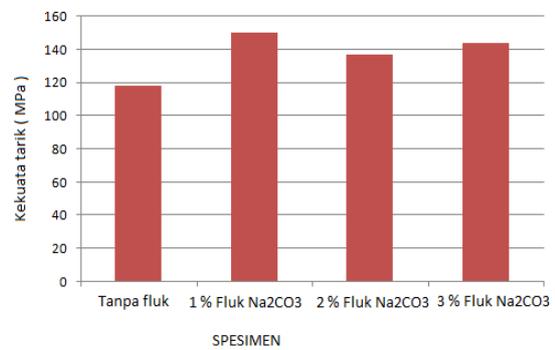
Material setelah dilakukan uji komposisi termasuk Al-Si menunjukkan aluminium seri 3.

Tabel 1. Komposisi aluminium hasil penelitian

Unsur	(%)	Unsur	(%)
Si	7,96	Ti	0,5861
Fe	0,9088	Cr	0,0236
Cu	1,244	Ni	0,0501
Mn	0,2583	Pb	0,1198
Mg	0,1803	Sn	0,0220
Zn	0,5861	Al	88,6

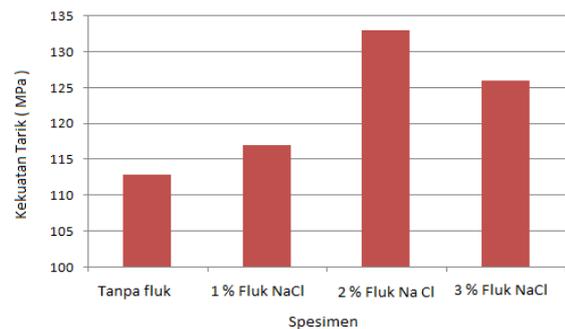
Hasil Uji Tarik

Gambar 4 adalah diagram uji tarik pada spesimen aluminium yang pada kondisi cair diberi inokulan berupa fluk Na_2CO_3 .



Gambar 4. Diagram hasil uji tarik (inokulan berupa fluk Na_2CO_3).

Gambar 5 adalah diagram uji tarik pada spesimen aluminium yang pada kondisi cair diberi inokulan berupa fluk NaCl .



Gambar 5. Diagram uji tarik (inokulan fluk NaCl).

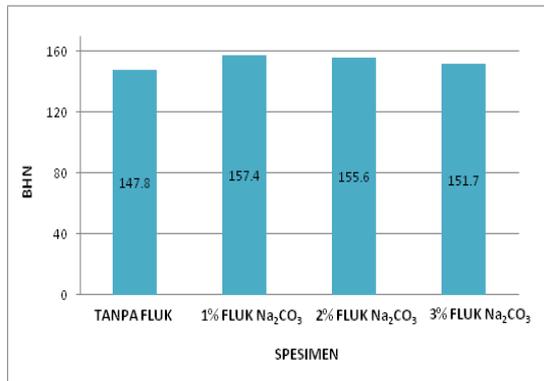
a. Pembahasan pengujian tarik

Spesimen tanpa penambahan fluk memiliki nilai kekuatan tarik rata – rata sebesar $0,118 \text{ Kg/mm}^2$, nilai kekuatan tarik tersebut paling kecil dibandingkan dengan spesimen 1% - 3% Na_2CO_3 dan NaCl . Hal ini bisa dipengaruhi banyaknya cacat lubang jarum yang ada pada spesimen tanpa fluk, sehingga kekuatannya akan kecil.

Spesimen dengan penambahan 1% Na_2CO_3 dan 2% NaCl memiliki kekuatan tarik rata – rata yang paling tinggi dengan nilai sebesar $0,150 \text{ Kg/mm}^2$ dan $0,133 \text{ Kg/mm}^2$. Penambahan fluk cenderung meningkatkan nilai kekuatan tarik dibandingkan dengan spesimen tanpa fluk. Dengan penambahan fluk, gas hidrogen pada cairan logam bisa diminimalisir sehingga didapatkan spesimen yang memiliki cacat lubang jarum jauh lebih sedikit

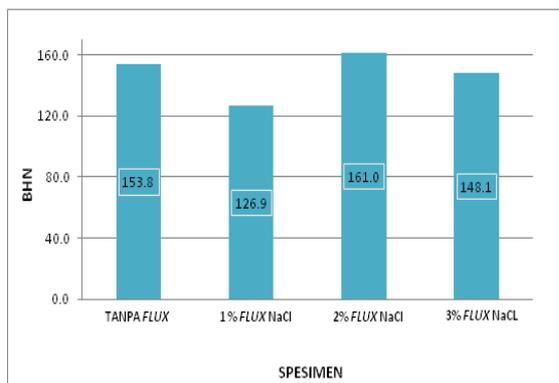
Hasil Uji Kekerasan

Gambar 6 adalah diagram uji kekerasan Brinel pada spesimen aluminium yang pada kondisi cair diberi inoculan berupa fluk Na_2CO_3 .



Gambar 6. Diagram uji kekerasan.

Gambar 7 adalah diagram uji tarik pada spesimen aluminium yang pada kondisi cair diberi inoculan berupa fluk NaCl .



Gambar 7. Diagram uji tarik.

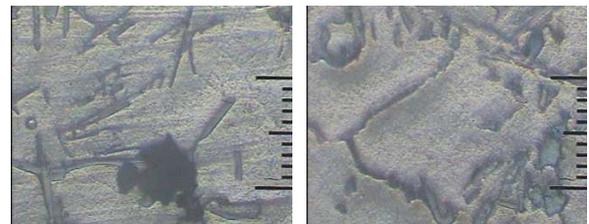
b. Pembahasan pengujian kekerasan

Spesimen tanpa fluk memiliki nilai kekerasan 147,8 BHN, memiliki nilai kekerasan paling kecil dari pada spesimen yang lainnya disebabkan karena memiliki cacat lubang jarum yang paling banyak. Banyaknya cacat lubang jarum akan berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

Spesimen dengan penambahan 1% Na_2CO_3 memiliki nilai kekerasan 157,4 BHN dan spesimen 2% NaCl memiliki nilai kekerasan 161 BHN, dibandingkan dengan spesimen tanpa fluk, Hal ini dikarenakan spesimen 1% Na_2CO_3 dan 2% NaCl memiliki cacat lubang jarum yang paling sedikit.

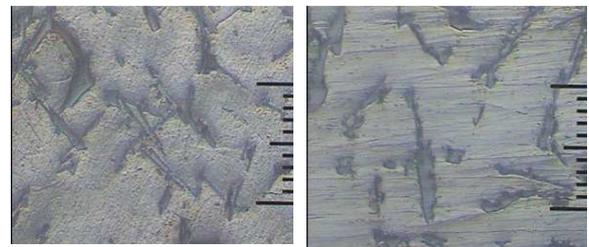
c. Pembahasan pengujian struktur mikro

Pada struktur mikro spesimen tanpa fluk, dengan penambahan fluk 1% -3% Na_2CO_3 dan NaCl pada gambar struktur mikro yang terjadi tidak mengalami perubahan. Dengan penambahan fluk ternyata tidak berpengaruh terhadap struktur mikro aluminium cor.



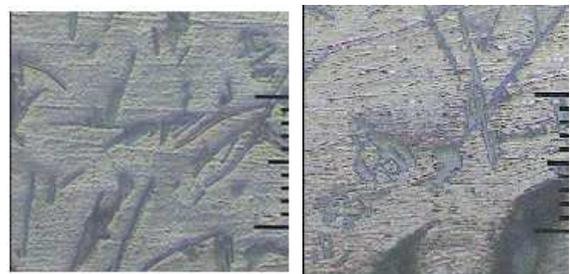
Spesimen tanpa fluk

Spesimen 1% Na_2CO_3



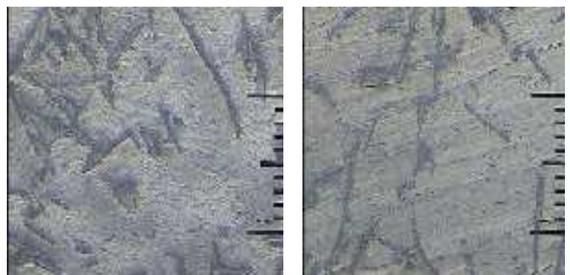
Spesimen 2% Na_2CO_3

Spesimen 3% Na_2CO_3



Spesimen tanpa fluk

Spesimen 1% NaCl



Spesimen 2% NaCl

Spesimen 3% NaCl

Gambar 8. Struktur mikro.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang pengaruh penambahan fluk Na_2CO_3 dan NaCl terhadap cacat lubang jarum pada pengecoran aluminium, maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Spesimen dengan penambahan 1% fluk Na_2CO_3 , 2% NaCl lebih sedikit cacat lubang jarum dibanding spesimen tanpa penambahan fluk.
2. Spesimen dengan penambahan 1% fluk Na_2CO_3 dan 2% fluk NaCl memiliki kekuatan tarik yang paling besar dengan nilai sebesar 150 MPa dan 133 MPa.
3. Spesimen dengan penambahan 1% fluk Na_2CO_3 dan 2% fluk NaCl memiliki nilai kekerasan yang paling besar dengan nilai sebesar 157,4 BHN dan 161 BHN
4. Dari hasil pengamatan tentang struktur mikro, tidak terjadi perubahan struktur mikro antara spesimen tanpa fluk Na_2CO_3 dan dengan spesimen 1%, 2%, dan 3% fluk Na_2CO_3 dan fluk NaCl.

REFERENSI

- [1] Surdia, T. dan Chijiwa, K., 1982, *Teknik Pengecoran Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2] Suharno, B., Arifin, B., dan Anshara, N., 2006, "Pengaruh Penambahan *Scrap*, Modifier (Al-Sr) dan *Grain Refiner* Terhadap Nilai Fluiditas Pada Ingot Aluminium-AC2B", Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- [3] Jorstad, J.L., Rasmussen, W.M., 1993, *Aluminum Casting Technology*, American Foundrymen's Society, Inc.
- [4] Gruzleski, J.E., Closset, B.M., 1980, *The Treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys*, American Foundrymen's Society, Inc.
- [5] Banga, T.R., Agarwal, R.L., Manghnani, T., 1981, *Foundry Engineering*, Khanna Publishers, Delhi.

STUDI UKURAN GRAFIT BESI COR KELABU TERHADAP LAJU KEAUSAN PADA PRODUK BLOK REM METALIK KERETA API

Lilik Dwi Setyana

Teknik Mesin Sekolah Vokasi UGM

lilik_ugm@yahoo.co.id

ABSTRAK

Blok rem kereta api yang diproduksi di Ceper Klaten Jawa Tengah menggunakan besi cor kelabu. Permasalahan yang sering dijumpai adalah ketahanan terhadap gesekan yang kurang baik sehingga mempengaruhi lama waktu penggunaannya, namun jika kekerasan blok rem tersebut terlalu tinggi maka roda kereta api yang akan lebih cepat aus.

Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi 20 blok rem kereta api yang dinyatakan lolos uji dan tidak lolos uji dari tingkat kekerasannya, kemudian diamati struktur mikronya. Kemudian diambil 5 spesimen dengan besar grafit yang berbeda. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan, uji keausan dan pengamatan struktur mikro.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi (207 BHN) terjadi pada spesimen 1 dengan ukuran grafit terkecil sedangkan kekerasan terendah (113 BHN) terjadi pada spesimen 5 dengan ukuran grafit terbesar. Laju keausan terendah ($2,1 \cdot 10^{-4}$ mm³/kg.m) terjadi pada spesimen 5 dengan ukuran grafit terbesar (laju keausan turun hingga 76% dari spesimen 1). Sedangkan berdasar pengamatan struktur mikro, ukuran grafit dengan panjang rata-rata 40 hingga 70 μ m dan lebar rata-rata 5 μ m mempunyai nilai kekerasan standar untuk blok rem (175 hingga 197 BHN).

Kata kunci : Blok Rem, Besi Cor, Keausan

LATAR BELAKANG

Salah satu produk yang dibuat oleh beberapa industri pengecoran di Ceper Klaten adalah blok rem metalik kereta api yang terbuat dari besi cor kelabu. Pengecekan terhadap kelayakan yang meliputi kekerasan, ketahanan aus dan komposisi kimia selalu dilakukan karena pentingnya komponen tersebut. Produk yang dihasilkan masih ada yang memiliki kekerasan terlalu tinggi sehingga bisa menyebabkan kerusakan pada roda kereta api ketika bergesekan

sewaktu pengereman. Standar nilai kekerasan blok rem metalik adalah 175 hingga 197 BHN.

Ukuran dan penyebaran grafit merupakan salah satu hal yang perlu di analisa karena peran grafit pada produk blok rem kereta api terhadap ketahanan aus saat bergesekan berfungsi sebagai *self lubrication*.

TINJAUAN PUSTAKA

Sadino dkk [1], melakukan penelitian mengenai ketahanan aus dan struktur mikro *cylinder liner*, diperoleh hasil bahwa peningkatan keausan serta penurunan nilai kekerasan produk *cylinder liner* FC 25 diakibatkan oleh terjadinya perubahan struktur mikronya. Apabila ditinjau dari struktur mikro produk *cylinder liner* FC 25 dengan penambahan 0,25% tembaga dapat merubah grafit tipe A dan tipe B menjadi tipe D yang memiliki pola interdendritik. Pola interdendritik ini memiliki volume grafit yang lebih besar dibandingkan tipe A dan B. Penambahan sebesar 0,25% tembaga pada *cylinder liner* ternyata belum efektif dalam peningkatan matriks pearlit yang akan berakibat pada penurunan keausan dan peningkatan kekerasan.

Surojo dkk [2], melakukan studi pengaruh struktur mikro terhadap ketahanan aus besi cor dengan membandingkan ketahanan aus jenis besi cor bergrafit nodular, *vermicular* dan serpih. Hal ini dilakukan untuk melihat potensi besi cor bergrafit *vermicular* sebagai bahan pembuatan blok rem metalik kereta api. Spesimen besi cor nodular dan *vermicular* diperoleh melalui pengecoran dengan memvariasikan tebal coran. Sementara itu, spesimen besi cor bergrafit serpih diperoleh dengan memotong blok rem metalik kereta api. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur mikro hasil pengecoran pada besi cor yang mengandung paduan Mg dipengaruhi oleh ketebalan coran. Semakin tebal coran mendorong terbentuknya grafit *vermicular*. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa besi cor bergrafit *vermicular* memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan besi cor bergrafit nodular.

Sutiyoko dkk [3], melakukan penelitian mengenai kekerasan dan struktur mikro besi cor kelabu pada pengecoran *evaporative*, diperoleh hasil bahwa kekerasan besi cor kelabu mengalami penurunan dengan semakin meningkatnya ukuran *mesh* pasir, dengan kata lain semakin kecil ukuran pasir maka benda cor akan semakin lunak. Permeabilitas pasir semakin kecil dengan mengecilnya ukuran pasir. Hal ini menyebabkan udara lebih lama tertahan di dalam *cavity* sehingga pembekuan cairan lebih lama. Pembekuan cairan yang lebih lama memberikan kesempatan silikon untuk melepas karbon dari besi untuk membentuk grafit. Semakin banyak terbentuk grafit maka kekerasan benda cor akan semakin menurun.

Pratowo dkk [4], melakukan penelitian mengenai peningkatan kekerasan dan ketahanan aus permukaan besi cor kelabu melalui proses boronisasi, diperoleh hasil bahwa persentase keausan maksimal untuk besi cor kelabu sebesar 0,0667% pada temperatur boronisasi 875 °C dengan waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 80% dari material awal. Nilai kekerasan maksimal untuk besi cor kelabu sebesar 810,5 VHN pada temperatur boronisasi 875 °C dengan waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 300% dari material awal dan nilai kekerasan maksimal.

DASAR TEORI

Besi cor adalah paduan besi dan karbon dengan kandungan karbon berkisar antara 2,0 – 6,67 %, namun yang biasa digunakan untuk berbagai komponen mesin mempunyai kandungan karbon 2,5 – 4,0 %. Dasar pengklasifikasian besi cor ditentukan oleh struktur metalografi yang sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam paduan. Karbon dapat berupa sementit (Fe_3C) ataupun karbon bebas (grafit). Bentuk, ukuran dan distribusi grafit akan mempengaruhi sifat mekanik besi cor. Unsur lain berupa silikon, mangan, phosphor dan belerang juga mempengaruhi struktur metalografi besi cor. Pengelompokan besi cor berdasarkan struktur mikro khususnya bentuk karbon dibagi dalam empat golongan yaitu: besi cor putih (*white cast iron*), besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*), besi cor kelabu (*grey cast iron*), besi cor nodular (*nodular cast iron*).

Besi cor kelabu merupakan jenis besi cor yang paling banyak digunakan karena sifat peredam getaran dan *self lubrication* yang baik. Grafit pada besi cor kelabu yang berbentuk *flake* terbentuk pada saat pembekuan. Proses penggrafitan dipengaruhi oleh tingginya kadar karbon, unsur *grafite stabilizer* (silikon), temperatur penuangan tinggi dan pendinginan yang lambat. Patahan penampang besi cor akan berwarna kelabu yang disebabkan

banyaknya jumlah grafit. Grafit besi cor kelabu berbentuk *flake* (serpilh), berupa lempeng-lempeng kecil yang melengkung. Ujung-ujung grafit berbentuk runcing yang menyebabkan ketangguhan besi cor kelabu rendah [5].

Matrik ferit dalam besi cor kelabu sangat ulet, tetapi kekerasannya sangat rendah. Matrik perlit mempunyai kombinasi kekerasan dan keuletan yang baik, tetapi nilainya masih rendah. Sementit dan martensit mempunyai kekerasan yang tinggi, tetapi sangat getas. Diantara matrik-matrik tersebut, bainit mempunyai kombinasi nilai kekerasan dan keuletan terbaik sehingga untuk penggunaan besi cor kelabu dengan tuntutan nilai kekerasan dan kekuatan impak yang tinggi, besi cor kelabu dengan matrik bainit lebih unggul dibandingkan yang lainnya [6].

Kekuatan dan kekerasan besi cor kelabu dapat dinaikkan dengan cara menaikkan jumlah karbon yang berupa sementit dalam eutektoid dan akan mencapai maksimum pada struktur matriks perlitik [7].

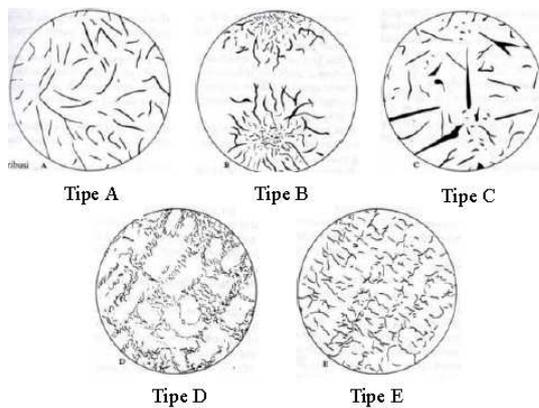
Tipe grafit besi cor kelabu dapat dikelompokkan menjadi lima tipe, yaitu : tipe A, B, C, D dan E. Grafit tipe A memiliki serpih-serpih grafit yang terbagi rata dan orientasinya sebarang. Struktur tersebut timbul pada besi cor kelas tinggi dengan matriks perlit dan terdapat potongan-potongan grafit yang bengkok yang memberikan kekuatan tertinggi pada besi cor. Grafit bengkok tersebut diperoleh dengan cara meningkatkan pengendapan kristal-kristal sepanjang austenit proeutektik. Besi cor dengan kandungan karbon tinggi jarang yang mempunyai potongan grafit bengkok disebabkan oleh pengendapan kristal yang sedikit sehingga perlu dilakukan penghilangan oksida dan inokulasi penggrafitan pada besi cair.

Grafit tipe B memiliki bentuk seperti bunga ros (*rosette*) dengan orientasi sebarang. Struktur ini merupakan salah satu sel eutektik yang bagian tengahnya mempunyai potongan-potongan eutektik halus dari grafit dan serpih-serpih grafit radial di sekitarnya. Struktur tersebut biasanya ditemukan pada produk coran tipis yang mengalami pendinginan cepat. Tipe *rosette* tersebar dalam besi cor yang mempunyai kandungan karbon tinggi karena banyak pengendapan grafit yang mengakibatkan struktur menjadi lemah dan terkadang pada bagian tengah dapat terjadi retak atau lubang kecil.

Grafit tipe C mempunyai grafit serpih yang saling menumpuk dengan orientasi sebarang. Hal ini disebabkan oleh jumlah grafit yang begitu banyak sehingga ferrit sangat mudah mengendap. Namun pengendapan ferrit mengakibatkan struktur menjadi lemah, sehingga tipe grafit seperti ini jarang dipakai.

Grafit tipe D mempunyai potongan grafit eutektik halus yang mengkristal di antara dendrit kristal austenit. Potongan grafit tipe ini dikenal sebagai penyisihan antar dendrit dengan orientasi sebarang. Keadaan ini disebabkan oleh pendinginan lanjut pada proses pembekuan eutektik seperti oksidasi dalam pencairan. Potongan grafit seperti ini menyebabkan besi cor memiliki kekuatan tinggi dengan keuletan rendah.

Grafit tipe E muncul apabila kandungan karbon agak rendah. Hal ini akan mengurangi kekuatan karena jarak yang dekat antara potongan-potongan grafit yang terdistribusi seperti pada tipe D. Tetapi kadang-kadang kekuatannya tinggi yang disebabkan karena kandungan karbon yang rendah dan berkurangnya pengendapan grafit. Berdasarkan ASM Vol. 15, tipe-tipe grafit tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tipe – Tipe Grafit

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran grafit terhadap

kekerasan dan keausan pada produk blok rem metalik kereta api.

CARA PENELITIAN

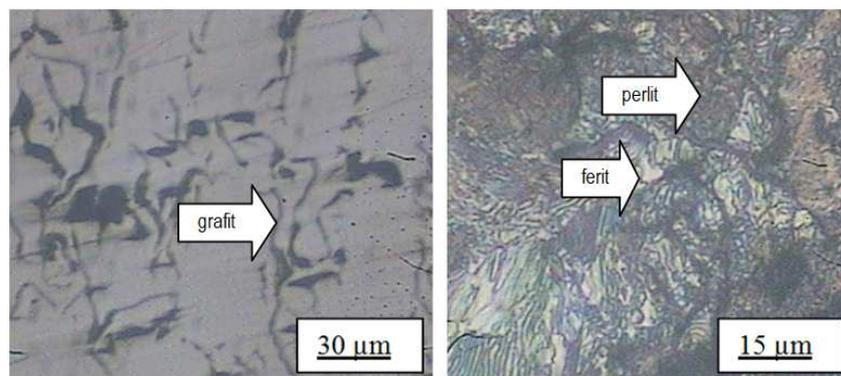
Cara penelitian yang dilakukan adalah :

1. Memotong 20 blok rem metalik kereta api kemudian dilakukan preparasi sehingga bisa diamati struktur mikronya
2. Memilih 5 (lima) spesimen yang mempunyai perbedaan ukuran grafit yang signifikan dari 20 spesimen yang diamati
3. Menguji kekerasan (metode Brinell) dan keausan (*universal wear*)
4. Melakukan analisa hasil dengan cara membandingkan ukuran grafit, penyebaran grafit, serta jenis matrik penyusun di sekitar grafit terhadap kekerasan dan laju keausan.
5. Mengambil kesimpulan.

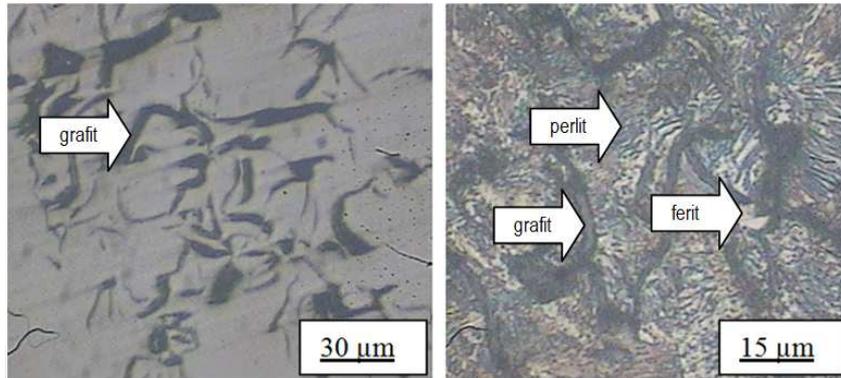
HASIL PENELITIAN

Pengujian Metalografi

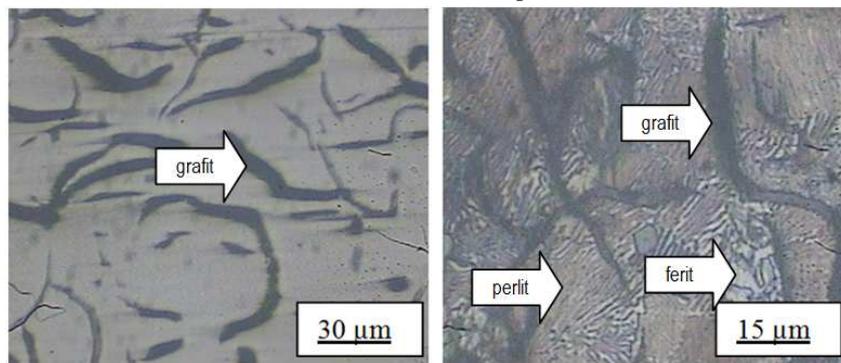
Hasil pengujian metalografi seperti terlihat pada Gambar 2 hingga Gambar 6. Pengambilan foto spesimen tanpa etsa dilakukan dengan perbesaran lensa okuler dan obyektif masing-masing 10x (perbesaran total 100x), sedangkan spesimen yang di etsa menggunakan perbesaran lensa okuler 10x dan obyektif 20x (perbesaran total 200x). Pengamatan pertama dilakukan pada spesimen sebelum dilakukan proses etsa karena pengamatan difokuskan pada ukuran grafit. Sedangkan pengamatan kedua dilakukan pada spesimen yang telah dilakukan proses etsa sehingga struktur mikro disekitar grafit menjadi lebih jelas. Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui bentuk, ukuran dan penyebaran matrik penyusun.



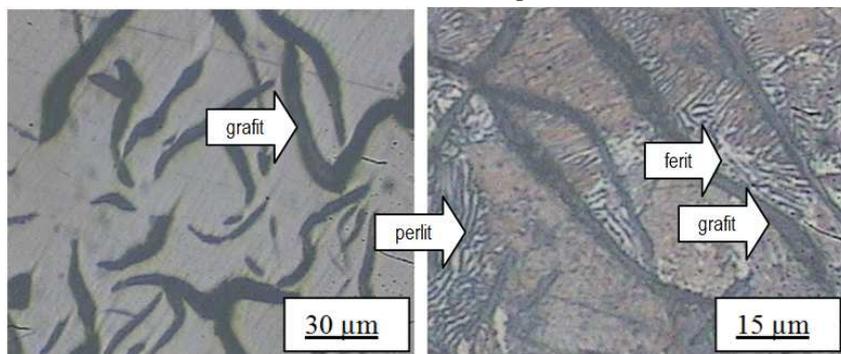
Gambar 2. Struktur mikro spesimen 1



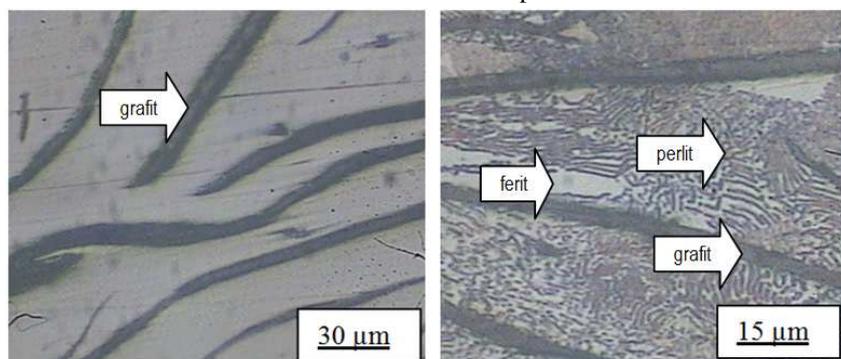
Gambar 3. Struktur mikro spesimen 2



Gambar 4. Struktur mikro spesimen 3



Gambar 5. Struktur mikro spesimen 4



Gambar 6. Struktur mikro spesimen 5

Pengujian Keausan

Pengujian laju keausan dilakukan dengan alat *universal wear machine* dengan hasil seperti terlihat pada Tabel 1. Pengujian keausan dilakukan dengan cara spesimen digesek menggunakan *revolving disk* ketebalan 3,45 mm dan jari-jarinya 13,6 mm selama 60 detik dengan pembebanan 6,36 kgf. Besarnya keausan dilihat dari banyaknya volume yang hilang pada saat diberikan pembebanan sebesar 6,36 kgf sejauh 15 m.

Tabel 1. Hasil Pengujian Keausan

Spes.	Lebar wear b (mm)	Panjang wear B (mm)	Volume tergores W (mm ³)	Nilai keausan Wsi (mm ³ /kg.m)
1	1.50	2.70	0.05584	0.00088
2	1.35	2.65	0.03995	0.00063
3	1.25	2.66	0.03183	0.00050
4	1.10	2.55	0.02080	0.00033
5	0.95	2.50	0.01313	0.00021

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode indentasi Brinnel karena struktur mikro yang tidak homogen (terdapat grafit dengan ukuran cukup besar dengan penyebaran merata). Besar beban yang digunakan adalah 187,5 kgf dengan hasil seperti terlihat pada Tabel 2.

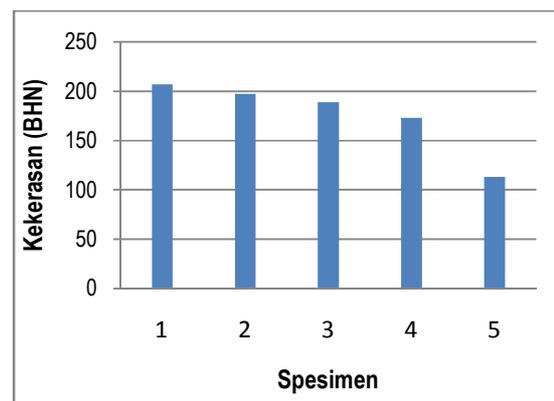
Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan

Spes.	D rata-rata (mm)	Kekerasan (BHN)	Kekerasan Rata-Rata (BHN)
1	1,05	206.63	207
	1,05	206.63	
	1,05	206.63	
2	1,08	194.73	197
	1,08	194.73	
	1,06	202.55	
3	1,10	187.33	189
	1,09	190.98	
	1,10	187.33	
4	1,14	173.68	173
	1,14	173.68	
	1,15	170.49	
5	1,37	116.85	113
	1,38	115.00	
	1,42	107.97	

PEMBAHASAN

Pengamatan struktur mikro yang diperoleh (menggunakan *metalurgical microscope*) terlihat seperti pada Gambar 2 hingga Gambar 6. Berdasar pengamatan struktur mikro blok rem terlihat grafit berbentuk serpih (*flake*) tipe A yang tersebar merata dengan orientasi sebarang. Perbedaan terlihat dari ukuran grafitnya, sedangkan matrik penyusun terlihat sama yang didominasi perlit (80-90%) dan sedikit ferrit (10-20%). Ukuran grafit mempunyai *trend* membesar jika dibandingkan antara spesimen 1 hingga 5. Ukuran grafit pada spesimen 1 berukuran paling kecil (panjang dan lebar rata-rata sekitar 30 μm dan 2 μm) sedangkan ukuran grafit pada spesimen 5 berukuran paling besar (panjang dan lebar rata-rata sekitar 225 μm dan 9 μm). Ukuran dan penyebaran grafit berpengaruh pada harga kekerasan (Gambar 8) dan laju keausannya (Gambar 9).

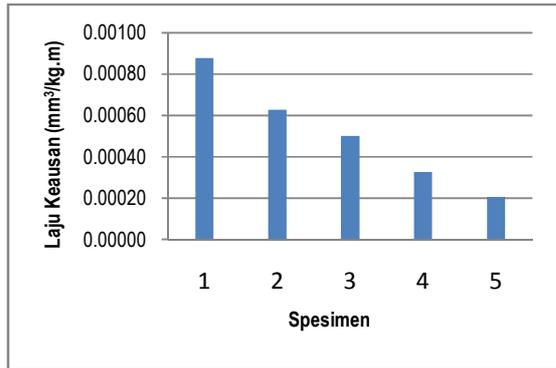
Harga kekerasan spesimen 1 hingga 5 secara berturut-turut adalah 207, 197, 189, 173 dan 113 BHN. Nilai kekerasan yang distandarkan oleh PT KAI untuk blok rem adalah 175 hingga 197 BHN. Dari data yang diperoleh hanya spesimen 2 dan 3 saja yang memenuhi standar. Ukuran grafit pada spesimen 2 dan 3 mempunyai panjang rata-rata 40 sd 70 μm dan lebar rata-rata sekitar 5 μm . Spesimen 1 dengan ukuran grafit paling kecil mempunyai kekerasan tertinggi (207 BHN) sedangkan spesimen 5 dengan ukuran grafit paling besar mempunyai kekerasan terendah (113 BHN) hal ini disebabkan grafit mempunyai kekerasan yang rendah (2 skala Mohs), namun mempunyai sifat *self lubrication* sehingga mampu menurunkan laju keausan [5]. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sutiyoko [3] bahwa semakin banyak terbentuk grafit maka kekerasan benda cor akan semakin menurun.



Gambar 8. Hasil pengujian kekerasan

Laju keausan spesimen 1 hingga 5 secara berturut-turut adalah $8,8 \cdot 10^{-4}$; $6,3 \cdot 10^{-4}$; $5,0 \cdot 10^{-4}$; $3,3 \cdot 10^{-4}$ dan $2,1 \cdot 10^{-4}$ mm³/kg.m seperti terlihat pada Gambar 9. Grafit akan berfungsi sebagai *lubrication* pada saat

blok rem saat bergesekan dengan roda sehingga semakin besar ukuran grafit maka laju keausan akan semakin rendah (tahan aus). Hal tersebut dapat dilihat laju keausan spesimen 1 dengan ukuran grafit paling kecil mempunyai laju keausan terbesar ($8,8 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$) sedangkan spesimen 5 dengan ukuran grafit paling besar mempunyai laju keausan paling rendah ($2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$). Laju keausan spesimen 5 turun hingga 76% dibanding spesimen 1.



Gambar 9. Hasil pengujian laju keausan

Perbedaan kekerasan dan laju keausan terutama dipengaruhi oleh ukuran grafit, karena matrik disekitar grafit pada semua spesimen adalah perlit dan ferit dengan perbandingan yang hampir sama seperti terlihat pada Gambar 2 hingga 6. Kekerasan yang tinggi pada spesimen 1 disebabkan karena grafit berukuran kecil sehingga matrik disekitar grafit adalah perlit yang lebih mendominasi dengan sedikit ferit. Namun spesimen tersebut mempunyai laju keausan yang tinggi karena kemampuan *self lubrication* yang rendah. Kekerasan yang rendah pada spesimen 5 disebabkan karena grafit berukuran besar walaupun matrik disekitar grafit juga perlit (lebih mendominasi) dan sedikit ferit, namun mempunyai laju keausan yang rendah karena sifat *self lubrication* yang baik. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan Sadino, dkk [1] yang mana perubahan grafit menjadi tipe D dengan ukuran *flake* yang kecil meningkatkan laju keausan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan:

1. Kekerasan tertinggi (207 BHN) terjadi pada spesimen 1 dengan ukuran grafit terkecil dan kekerasan terendah terjadi pada spesimen 5 dengan ukuran grafit terbesar
2. Laju keausan terendah ($2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$) terjadi pada spesimen 5 dengan ukuran grafit terbesar (laju keausan turun hingga 76% dari spesimen 1).
3. Berdasar pengamatan struktur mikro, ukuran grafit dengan panjang rata-rata 40 s.d 70 μm dan lebar rata-rata 5 μm mempunyai nilai kekerasan standar untuk blok rem (175 sampai dengan 197 BHN).

REFERENSI

- [1] Sadino, Farid, M, Arifin. S., 2010, Analisa Ketahanan Aus, Kekerasan dan Struktur Mikro ada Cylinder Liner Fc 25 dengan Penambahan 0,25% Tembaga (Cu), digilib.its.ac.id.
- [2] Surojo. E, dkk., 2013, Studi Pengaruh Struktur Mikro Terhadap Ketahanan Aus Besi Cor, *Simposium Nasional RAPI XII FT UMS*.
- [3] Sutiyoko dan Lutiyatmi., 2013, Kekerasan dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu pada Pengecoran *Evaporative* dengan Variasi Ukuran Pasir Cetak., *Jurnal Foundry Vol. 3*.
- [4] Pratowo, B. dan Kunarto., 2011, Peningkatan Kekerasan dan Ketahanan Aus Permukaan Besi Cor Kelabu Melalui Proses Boronisasi Momentum., Vol. 7, No. 1: 18-23.
- [5] Surdia, T., dan Saito, S., 1997, Pengetahuan Bahan Teknik., PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- [6] Suherman dan Wahid, 1987, Pengetahuan Bahan, Diktat Jurusan Teknik Mesin, ITS.
- [7] Higgins, A.R., 1984, *Engineering Metallurgy*., Part 1, Fifth Edition, Hodder and Stoughton, London.

PERBANDINGAN SIFAT KEAUSAN UHMWPE TERHADAP *COMMERCIALLY PURE TITANIUM (CP-Ti)* DAN *STAINLESS STEEL 316L* UNTUK APLIKASI SENDI LUTUT BUATAN

Benidiktus Tulung Prayoga
Program Diploma Teknik Mesin SV-UGM
beni@ugm.ac.id

Rini Dharmastiti
Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM
rini_dharmastiti@yahoo.co.uk

Suyitno
Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM
suyit@yahoo.com

Arfan Fadilah
Mahasiswa Program Sarjana
Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM

ABSTRAK

Titanium dan stainless steel 316L telah banyak dipakai sebagai material implan karena sifat tahan korosi, kekuatan dan biokompabilitas yang baik. Permasalahan utama pada implan persendian adalah keausan dari implan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat keausan UHMWPE terhadap dan *commercial pure titanium (CP-Ti)* dan *stainless steel 316L* untuk aplikasi sendi lutut buatan.

Pada penelitian ini uji keausan yang digunakan adalah metode *reciprocating pin on flat (RPOF)* sesuai dengan ASTM F732-00. Pin UHMWPE digesekkan pada plat yang bergerak bolak-balik di bawah pin. Durasi pengujian selama 20×10^5 siklus dan pengambilan data kehilangan aus diambil pada durasi setiap 250.000 siklus menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,001 gram.

Hasil penelitian ini menyatakan bahwa kekerasan 316 L lebih tinggi dibandingkan material CP-Ti. Bahan 316 L lebih tahan goresan dibandingkan material CP-Ti. Material UHMWPE yang berpasangan dengan *stainless steel 316L* memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan material UHMWPE yang berpasangan dengan CP-Ti. Lapisan oksida pada CP-Ti mudah terlepas sehingga keausan meningkat. Mekanisme keausan yang terjadi adalah keausan adesif dan abrasif.

Kata kunci : *Keausan* , *Reciprocating Pin on Flat (RPOF)*, *UHMWPE*, *CP-Ti*, *316 L*.

LATAR BELAKANG

Sendi lutut merupakan tulang sendi terbesar yang terletak di antara sendi engkel dan sendi pinggul. Sendi lutut dibentuk oleh tulang *femoral*, *tibial*, dan *patella* [1]. Sendi lutut mampu menahan beban sebesar 3-4 kali lipat berat tubuh manusia [2]. Namun, sendi lutut merupakan organ tubuh yang rentan mengalami kerusakan akibat aktifitas dan beban kerja yang dilakukan manusia sehari-hari. Kehadiran penyakit, terjadinya kecelakaan, dan bertambahnya usia merupakan beberapa faktor yang dapat menyebabkan kerusakan pada sendi lutut. Apabila kerusakan pada sendi lutut sudah sedemikian parah, maka langkah yang diambil ialah penggantian sendi lutut total (*Total Knee Replacement*, TKR). Hingga saat ini, material standar implan untuk sendi lutut dibuat dari pasangan logam dan polimer.

Material logam yang umum digunakan untuk implan sendi lutut bagian femoral dan tibial adalah logam CoCr, *stainless steel 316L* dan titanium paduan, sedangkan sisipan tibial terbuat dari polimer *Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE)*. UHMWPE mempunyai sifat gesekan yang rendah, tahan aus dan tidak meracuni jaringan tubuh. Kondisi pelumasan sendi lutut adalah pelumasan batas atau campuran. Kondisi ini membuat implan sendi lutut akan saling bergesekan dan memicu terjadinya keausan. Puing-puing keausan dapat berdampak pada terjadinya peradangan, osteolysis dan akhirnya menyebabkan pelonggaran implan sehingga umur pakai implan menjadi lebih pendek [3]. Oleh karena itu upaya untuk mengurangi

terjadinya keausan UHMWPE menjadi sangat penting. Keausan adalah sifat sistem bukan suatu sifat material oleh karena itu keausan dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti material, pelumasan, tegangan kontak dan kecepatan gerak dari sistem. Pengembangan desain dan material baru untuk implan menjadi perhatian utama sebagai upaya mengurangi keausan UHMWPE dan memperpanjang umur pakai implan.

TINJAUAN PUSTAKA

Berbagai penelitian yang menyelidiki tentang pengaruh material logam terhadap keausan UHMWPE telah banyak dilakukan. Sebagai misal, Gonzalez-Mora, dkk [4] melakukan penelitian pengaruh material CoCrMo hasil tempa (*mass finished*), CoCrMo (hand polish) dan CoCrMo hasil dari pengecoran serta untuk material hasil tempa mengalami pelapisan dengan ZrO₂ dan CoCrMo melalui metode *physical vapour deposition* (PVD) terhadap keausan UHMWPE. Pengujian dilakukan dengan metode RPOF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CoCrMo hasil pengecoran dan tempa dengan *mass finished* menghasilkan keausan UHMWPE yang paling kecil. Pengaruh dari kekerasan material mempengaruhi keausan UHMWPE, semakin keras material semakin sedikit keausan yang terjadi. Penelitian tentang keausan UHMWPE juga dilakukan oleh Lisa dkk [5]. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh radiasi sinar gamma pada UHMWPE terhadap perilaku keausan UHMWPE yang bergesekan dengan material titanium Ti6Al4V. Pengujian dilakukan pada kondisi kering dan berpelumas. Metode pengujian menggunakan *reciprocating sliding* dengan variasi beban normal sebesar 50, 60, 70, 80 N. Pengaruh dosis radiasi gamma memberikan dampak yang berbeda-beda pada keausan namun pada dosis rendah (25, 40, 50 kGy) akan memberikan ketahanan aus yang lebih baik. Kondisi pelumasan juga berpengaruh terhadap keausan, pada pengujian dengan kondisi kering keausan yang terjadi lebih besar dibandingkan kondisi dengan pelumas. Raffi dan Srinivasan menguji pengaruh beban normal terhadap keausan pasangan material UHMWPE dengan 316L dan pasangan material UHMWPE dengan UHMWPE. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketahanan aus pasangan material UHMWPE dengan 316L lebih baik dibandingkan pasangan material UHMWPE dengan UHMWPE [6]. Guesmil dkk meneliti pengaruh jenis pelumas terhadap ketahanan aus pasangan material UHMWPE dengan stainless steel M30NW. Pelumas yang digunakan adalah larutan *saline* (NaCl 0.9%), *sesame oil* dan *nigella sativa oil*. Pengujian dilakukan dengan RPOF dan pin terbuat dari stainless steel. Hasil pengujian menunjukkan

bahwa pelumas dengan *sesame* dan *nigella oil* memberikan keausan yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa pelumas dan pelumas dari larutan saline [7].

Berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu penelitian ini menggunakan pasangan material UHMWPE dengan CP-Ti dan pasangan material UHMWPE dengan 316L digunakan sebagai pembandingan.

DASAR TEORI

Keausan dapat didefinisikan sebagai hilangnya sebagian materi karena terjadinya gesekan antar dua permukaan. Ada empat mekanisme dasar terjadinya keausan yaitu keausan abrasif, adesif, fatik dan korosi. Mekanisme keausan yang sering terjadi pada permukaan implan sendi lutut adalah keausan abrasif, adesif, *third body wear* dan fatik [8]. Pengujian keausan dengan metode *reciprocating pin on flat* dapat digunakan untuk penyaringan material yang akan dipilih sebagai implan dan metode ini cocok dipakai pada simulasi sendi [4-5]

Disamping mekanisme keausan jumlah material yang hilang juga dapat dikuantifikasi untuk memberikan data keausan yang lebih mudah dipahami secara teknis. Berat material yang hilang karena keausan dapat dihitung menggunakan persamaan dari hukum Archard [9] sebagai berikut:

$$Q = \frac{KP}{H} \quad (1)$$

Q adalah volume keausan per satuan jarak geseran, P adalah gaya normal dan H adalah kekerasan dari material pasangan yang lebih lunak. Perbandingan antara $K/H = k$ disebut sebagai faktor keausan, dari persamaan (1) maka dapat dimodifikasi sebagai berikut :

$$k = \frac{V_w}{P \cdot S} = \frac{m_0 - m_1}{P \cdot S} \quad (\text{mm}^3/\text{N.m}) \quad (2)$$

Dengan keterangan sebagai berikut m_0 adalah berat UHMWPE sebelum diuji aus, m_1 adalah berat setelah diuji aus. P adalah gaya normal dalam Newton dan S adalah jarak tempuh geseran dalam meter, sedangkan ρ adalah berat jenis dari UHMWPE.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui ketahanan aus pasangan material UHMWPE dengan CP-Ti dan UHMWPE dengan 316L yang diuji menggunakan metode *reciprocating pin on flat*. Tegangan kontak sebesar 3,54 MPa dan durasi pengujian dilakukan selama 2 juta siklus atau setara dengan jarak tempuh 100 km.

CARA PENELITIAN

1. Material

Spesimen logam yang digunakan adalah plat *stainless steel* 316L dan *CP-Ti* (grade 2). Spesimen dipotong dengan ukuran $55 \times 20 \times 4$ mm dan $55 \times 20 \times 2$ mm masing-masing untuk plat *stainless steel* dan *CP Ti*. Proses *polishing* menggunakan mesin *polishing* dan kertas amplas dari ukuran #200, #760, #1000 dan #5000 dan dilanjutkan dengan menggunakan *diamond paste* hingga didapat permukaan *mirror finish*.

Polimer yang digunakan adalah jenis UHMWPE *medical grade* dengan berat molekul sebesar 60×10^5 gram/mol serta berat jenis sebesar $9,36 \times 10^{-4}$ gram/mm³. UHMWPE ini dibuat menjadi spesimen uji keausan berbentuk *pin* permukaan rata dengan diameter 9 mm dan panjang 20 mm. *Pin* selanjutnya dipoles dengan kertas amplas # 5000.

Pelumas yang digunakan adalah campuran antara *bovine serum* (25%), air destilasi (75%) dan dengan 0,1% *sodium azide* untuk memperlambat laju pertumbuhan bakteri [10]. Campuran 25% *bovine serum* dan 75% air destilasi digunakan untuk meniru pelumas yang terdapat dalam tubuh. Cairan *bovine serum* digunakan sebagai cairan pelumas karena cairan tersebut memiliki sifat karakteristik menyerupai *synovial fluids* yang merupakan cairan pelumas sendi lutut normal [11]. Konsentrasi protein di dalam serum merupakan salah satu indikator persamaan cairan *synovial* dengan cairan yang dipergunakan sebagai pelumas pada uji keausan. *Bovine serum* berasal dari darah sapi dewasa segar (didapatkan dari RPH Giwangan Yogyakarta) yang kemudian diekstraksi menggunakan alat *centrifuge* yang akan memisahkan serum dari sel darah merah.

2. Pengujian keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan alat uji keausan jenis *reciprocating pin on flat* (POF) *unidirectional* dengan 6 stasiun uji. Alat uji keausan dirancang dan dibuat sendiri. *Pin* dipasang tetap diam pada bagian atas dan menekan plat logam yang bergerak searah bolak-balik di bawah *pin*. Beban penekan pada *pin* sebesar 225 N melalui mekanisme lengan, sehingga memberikan tegangan kontak sebesar 3,54 MPa. Frekuensi yang digunakan adalah 1 Hz dan panjang lintasan untuk satu siklus sebesar 50 mm, sehingga kecepatan gerak bolak-balik sebesar 50 mm/detik. Pasangan spesimen, 3 plat *stainless steel* 316L dan 3 plat *CP-Ti*, diuji terhadap *pin* UHMWPE secara bersamaan.

Plat *stainless steel* 316L dan *CP-Ti* diletakkan secara berselingan di dalam kotak yang terpisah. Selama proses pengujian berlangsung spesimen selalu terendam pelumas. Pengujian dilakukan sebanyak 20×10^5 siklus atau setara dengan jarak

tempuh sejauh 100 km. Pengambilan data kehilangan berat dilakukan setiap $2,5 \times 10^5$ siklus dengan menggunakan timbangan presisi Merk Satorius ketelitian 0,001 gr. Setiap akan diambil data dengan penimbangan dan uji aus siklus berikutnya spesimen dibersihkan menggunakan acetone pada *ultrasonic cleaner* selama 15 menit.

Untuk menghindari *moisture uptake* selama uji keausan, maka *pin* UHMWPE terlebih dahulu direndam selama 19 hari. Selama uji keausan berlangsung digunakan *pin* kontrol yang juga ditimbang dan direndam *bovine serum*, sehingga berat *pin* yang dihitung pada uji keausan dapat diakumulasi dengan berat *pin* kontrol. Pelumas diganti setiap kali akan dilakukan pengambilan data kehilangan berat.

HASIL PENELITIAN

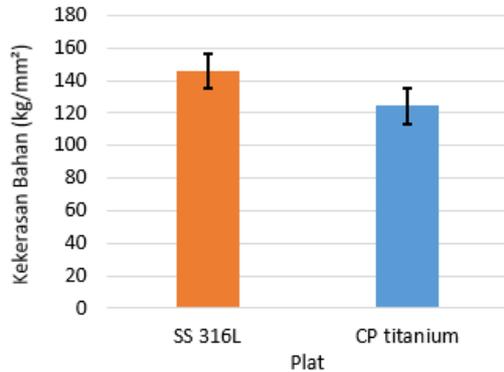
1. Uji kekerasan 316L dan CP-Ti

Hasil pengujian kekerasan mikro terhadap plat *stainless steel* 316L dan *CP-Ti* dapat dilihat pada Gambar 1. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa plat *stainless steel* 316L memiliki kekerasan bahan sebesar 145 kg/mm^2 lebih tinggi dibanding plat *CP-Ti* sebesar 124 kg/mm^2 . Sifat kekerasan dapat mempengaruhi ketahanan aus dari suatu material. Hal ini dapat mempengaruhi faktor keausan, di mana bahan yang memiliki kekerasan lebih tinggi dapat menghasilkan faktor keausan *pin* UHMWPE yang lebih rendah [12].

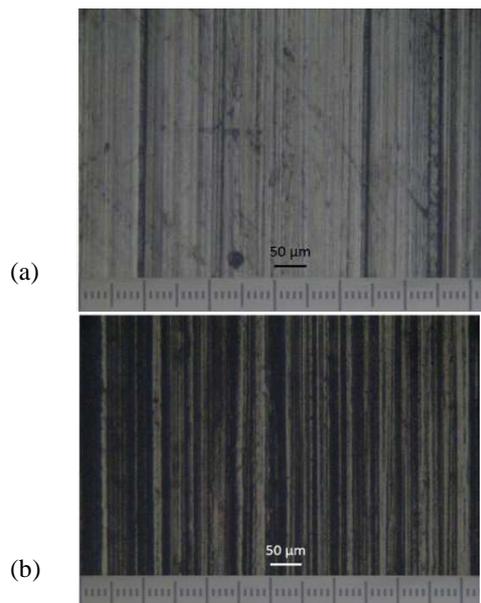
2. Pengamatan permukaan keausan

Pengamatan permukaan artikulasi dilakukan terhadap *pin* yang telah mengalami pengujian selama 2×10^6 siklus. Goresan berwarna hitam menandakan tingkat kedalaman goresan. Semakin tebal warna hitam pada garis, maka semakin dalam goresan yang dihasilkan. Pada gambar 2(a) dapat dinyatakan bahwa goresan yang dihasilkan pada *pin* UHMWPE terhadap *stainless steel* 316L tidak begitu dalam dan hanya ada beberapa garis yang terlihat berwarna hitam tebal. Berbeda dengan *pin* UHMWPE terhadap *CP-Ti* (Gambar 2 (b)), di mana goresan yang dihasilkan memiliki warna hitam yang sangat tebal, banyak, dan jarak antar goresannya cukup berdekatan. Pola goresan yang ada menunjukkan terjadinya keausan pada permukaan yang saling berartikulasi. Hal ini bisa menjadi penyebab laju perubahan nilai kekasaran permukaan *pin* UHMWPE terhadap *CP-Ti* lebih tinggi dengan kenaikan kekasaran permukaan sebesar $0,235 \mu\text{m}$, dibandingkan dengan kenaikan kekasaran permukaan *pin* UHMWPE terhadap *stainless steel* 316L yang hanya sebesar $0,192 \mu\text{m}$. Kekasaran permukaan pada plat 316L mengalami peningkatan kekasaran permukaan dimulai pada jumlah siklus 1×10^6 siklus,

sedangkan plat CP-Ti mengalami peningkatan kekasaran permukaan pada tahap awal pengujian. Besar peningkatan kekasaran permukaan setelah uji aus adalah sebesar 0,015 μm dan 0,0608 μm masing-masing untuk 316L dan CP-Ti.



Gambar 1. Kekerasan Plat *Stainless Steel* 316L dan CP-Ti



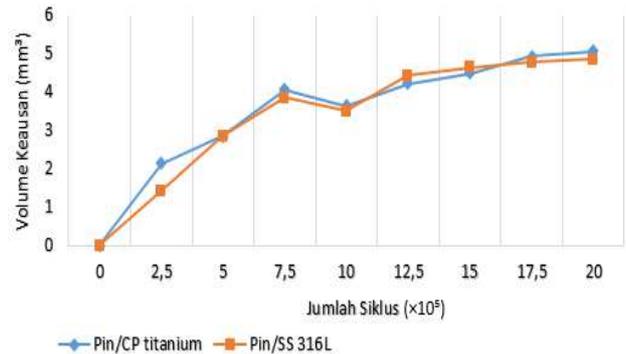
Gambar 2. Permukaan *pin* UHMWPE setelah diuji aus (a) pasangan UHMWPE/316L, (b) pasangan UHMWPE/CP-Ti.

3. Keausan pin UHMWPE

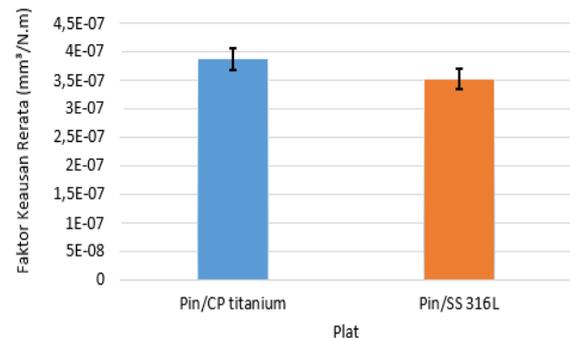
Gambar 3 menunjukkan volume keausan dari pin UHMWPE setelah uji aus RPFO. Keausan volume pin menggambarkan perubahan laju keausan terhadap durasi pengujian dan pasangan material. Keausan pin UHMWPE yang berpasangan dengan CP-Ti mempunyai laju keausan lebih besar dibanding yang berpasangan dengan 316L pada tahap awal siklus (sampai 250.000 siklus) yaitu sebesar 2,14

mm^3 , sedangkan untuk tahapan siklus selanjutnya kehilangan volume pin UHMWPE hampir sama untuk kedua pasangan material tersebut.

Sifat ketahanan aus dari material UHMWPE dapat digambarkan dari faktor keausan selama pengujian aus dilaksanakan. Perbandingan faktor keausan yang dihasilkan pin UHMWPE terhadap plat *stainless steel* 316L dan CP-Ti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Volume keausan UHMWPE



Gambar 4. Faktor Keausan Rerata Pin UHMWPE

Faktor keausan rerata yang dihasilkan *pin* UHMWPE berpasangan dengan CP-Ti adalah $3,88 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{N.m}$, sedangkan *pin* UHMWPE berpasangan dengan *stainless steel* 316L adalah $3,51 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{N.m}$. CP-Ti mempunyai ketahanan aus yang lebih rendah dibandingkan dengan 316L.

PEMBAHASAN

Kekerasan material dapat berpengaruh terhadap ketahanan aus suatu pasangan material yang saling bergesekan. Material yang keras mempunyai ketahanan goresan yang lebih baik dibandingkan material yang lunak. Sebagai konsekuensi material keras akan dapat mempertahankan kekasaran permukaannya sehingga laju keausan UHMWPE lebih rendah. Hasil uji kekerasan material 316L mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibanding CP-Ti sehingga lebih tahan aus. Hal serupa juga

dinyatakan oleh Gonzalez-Mora dkk bahwa kekerasan material logam semakin tinggi maka keausan UHMWPE yang terjadi lebih kecil [12].

Mekanisme keausan yang terjadi pada pengujian aus ini adalah keausan adesif dan abrasif. Keausan adesif terjadi ketika puncak-puncak kekasaran saling lengket akibat adanya tekanan yang cukup besar. Material UHMWPE akan menempel pada plat logam dan kemudian akan terlepas karena adanya gerakan perpindahan bolak-balik. Puing-puing keausan yang menempel pada logam kemudian bisa berdampak menjadi material abrasif dan ikut mengerus permukaan pin sebagai partikel ketiga sehingga memperparah keausan. Berdasarkan Gambar 2 nampak terlihat adanya goresan akibat mekanisme keausan adesif dan abrasif hal ini sesuai juga dengan yang dilaporkan peneliti lain [4-5]. Mekanisme keausan abrasif sangat dipengaruhi oleh adanya puing-puing keausan yang kemudian akan menjadi partikel ketiga yang ikut mengesek dan memperparah laju keausan. *Wear debris* ini akan menjadi bahan *abrasive*.

Faktor keausan *pin* UHMWPE terhadap CP-Ti lebih tinggi dibandingkan dengan *pin* UHMWPE terhadap *stainless steel* 316L. Hal ini diakibatkan karena material titanium mempunyai *shear strenght* yang rendah dan adanya lapisan oksida di permukaan yang mudah terlepas dan menjadi partikel ketiga, hal ini juga dilaporkan oleh peneliti lainnya [13]. Selain itu, nilai kekerasan bahan CP-Ti yang lebih rendah dari *stainless steel* 316L juga dapat meningkatkan faktor keausan pada *pin*.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan

1. Material UHMWPE yang dipasangkan dengan 316L mempunyai keausan yang lebih rendah daripada material UHMWPE yang dipasangkan dengan CP-Ti.
2. Mekanisme keausan yang terjadi didominasi oleh keausan abrasif.
3. Kekerasan material mempengaruhi ketahanan terhadap goresan suatu material. Kekerasan material CP-Ti lebih rendah dibandingkan 316L sehingga keausan UHMWPE yang berpasangan dengan CP-lebih besar dibandingkan UHMWPE berpasangan dengan 316L.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh LPPM UGM melalui hibah Peningkatan Kapasitas Peneliti Dosen Muda TA 2015 No. 280/DIT.LIT/2015 tanggal 25 Mei 2015.

REFERENSI

- [1] Tortora, G.J., Derrickson, B., 2000, *Principles of Anatomy and Physiology*, 14 ed, John Wiley & Sons, New Jersey, Chap 9.
- [2] Morrison, J.B., 1970, "The Mechanics of The Knee Joint in Relation to Normal Walking" *J. Biomech.*, vol. 3, April 1969, pp. 51–61.
- [3] Geetha, M., Singh, A. K., Asokamani, R., and Gogia, A.K., 2009, "Ti-Based Biomaterials, the Ultimate Choice for Orthopaedic Implants - A review," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 54, no. 3, pp. 397–425.
- [4] González-mora, V.A., Hoffmann, M., Stroosnijder, R., Espinar, E., Llamas, J.M., Fernandez-Fairen, M., and Gil, F.J., 2011, "Influence of different CoCrMo counterfaces on wear in UHMWPE for artificial joints," *J. Biomed. Sci. Eng.*, vol. 4, pp. 375–382.
- [5] Liza, S., Haseeb, A.S.M.A., Masjuki, H.H. and Abbas, A.A., 2013, "The Wear Behaviour of Crosslinked UHMWPE under Dry and Bovine Calf Serum Lubricated Conditions," *Tribol. Trans.*, vol. 56, pp. 130–140.
- [6] Raffi, N.M., and Srinivasan, V., 2013, "A study on wear behavior of γ -UHMWPE sliding against 316L stainless steel counter face," *Wear*, vol. 306, no. 1–2, pp. 22–26.
- [7] Guezmil, W., Bensalah, M and Mezlini, S., 2016, "Tribology International Effect of bio-lubrication on the tribological behavior of UHMWPE against M30NW stainless steel," *Tribology Int.*, vol. 94, pp. 550–559.
- [8] Nevelos, J., 2004, "Surface engineering of prosthetic knee components," *Knee*, vol. 11, pp. 163–167.
- [9] Archard, J.F., and Hirst, W., 1956, "The Wear of Metals under Unlubricated Conditions," *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 236, no. 1206, pp. 397–410
- [10] Derbyshire, B., Fisher, J., Dowson, D., Hardaker, C.S., and Brummitt, K., 1995 "Wear of UHMWPE sliding against untreated, titanium nitride coated and 'Hardcor'-treated stainless steel counterfaces," *Wear*, vol. 181–183, pp. 258–262.
- [11] Wilches, J.A., Uribe, L.V., and Toro, A., 2008, "Wear of materials used for artificial joints in total hip replacements," *Wear*, vol. 265, pp. 143–149.
- [12] González-mora, V.A., Hoffmann, M., Stroosnijder and Gil, F.J., 2011, "The role of hardness and roughness on the wear of different CoCrMo counterfaces on UHMWPE for artificial joints," *J. Biomed. Sci. Eng.*, vol. 4, pp. 651–656.
- [13] Molinari, A., Straffelini, G., Tesi, B., and Bacci, T., 1997, Dry Sliding Wear Mechanisms of the Ti6Al4V Alloy, *Wear*, 208(1-2), 105–112.