

ANALISA KETAHANAN AUS BESI COR EN-JN2019 DENGAN METODE FACTORIAL DESIGN TERHADAP UNSUR PADUAN DAN LAJU PENDINGINAN

ANALYSIS OF WEAR RESISTANCE OF CAST IRON EN-JN2019 USING METHOD OF FACTORIAL DESIGN ON ALLOY ELEMENT AND COOLING RATE

Kus Hanaldi

Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl. Kanayakan No. 21 Dago, Bandung 40135,
Email: adihanaldi@gmail.com

Diterima: 14 Januari 2016

Direvisi: 7 Maret 2016

Disetujui: 12 April 2016

ABSTRAK

Salah satu material yang dapat digunakan pada kondisi lingkungan abrasif adalah *white cast irons* atau *abrasion-resistant cast iron*. EN-JN2019 adalah salah satu jenis besi cor yang dapat digunakan pada kondisi ini. Pada besi cor ini terkandung unsur karbon, silikon, mangan, dan *chromium*. Analisa ketahanan aus material ini telah dilakukan dengan menggunakan *factorial design* terhadap dua kombinasi kandungan *chromium* (1% dan 2%), dua kombinasi kandungan silikon (1% dan 1,5%) dan dua kombinasi ketebalan sampel (5mm dan 30mm). Ketebalan sampel merupakan representasi dari laju pendinginan. Kajian terhadap kekerasan, struktur mikro, uji *impact* dan uji aus dari delapan sampel yang dihasilkan dari proses pengecoran telah dilaksanakan pula. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan menurun dengan meningkatnya ketebalan dan disertai dengan perubahan struktur mikro sebagai hasil dari laju pendinginan yang semakin lambat. Penambahan kandungan *chromium* meningkatkan kekerasan karena adanya pembentukan karbida. Penambahan kandungan silikon menurunkan kekerasan akibat pembentukan grafit yang lebih mudah. Pengaruh kandungan *chromium* dan silikon terhadap kekerasan memiliki ketergantungan satu dengan lainnya, karena penambahan silikon menekan pertumbuhan karbida. Dari hasil pengujian *impact* didapatkan hasil, pada semua variasi *chromium*, silikon dan ketebalan tidak memiliki pengaruh terhadap harga *impact*. Sedangkan dari hasil pengujian keausan didapatkan bahwa kekerasan berbanding lurus dengan nilai *wear resistant*, semakin tinggi kekerasan maka nilai *wear resistant* akan semakin meningkat.

Kata kunci: ketahanan aus, EN-JN2019, kandungan *chromium*, kandungan silikon, laju pendinginan, *factorial design*, pembentukan karbida.

ABSTRACT

Wear resistance is one of the requirement that must be possessed by a product used in abrasive environments. One of material that can be used in this condition is white cast irons or abrasion-resistant cast iron. EN-JN2019 is a type of cast iron which can be used in this condition. In this cast iron contains carbon, silicon, manganese, and chromium. Wear resistance analysis of this material has been done by using factorial design with a combination of two chromium contents (1% and 2%), combination of two silicon contents (1% and 1,5%) and combination of two thickness of the sample (5mm and 30mm). The thickness of the sample is representation of the cooling rate. Study on hardness, micro structure, impact testing and wear test for eight samples has been done. The result of hardness testing shows that hardness will decrease with the increased in thickness and it is followed by the changes in the microstructure as a result of the slower cooling rate. Increasing of chromium content will increase the hardness because of carbide formation. Increasing of silicon content will decrease its hardness due to the more graphite formation. Effect of chromium and silicon on hardness has a dependency to one another because of the addition of silicon will suppress carbide growth. From impact test, it has been demonstrated that on all variation of chromium contents, silicon contents, and thickness, there has been no effect on impact value. Wear test showed that the harder the sample, the higher will be the wear resistant.

Keywords: wear resistance, EN-JN2019, chromium content, silicon content, cooling rate, factorial design, carbide formation.

PENDAHULUAN

Ketahanan aus adalah salah satu tuntutan dari benda cor yang akan digunakan diindustri. Salah satu jenis bahan yang dapat digunakan dalam kondisi ini adalah besi cor EN-JN2019. Pada material EN-JN2019, unsur yang terkandung selain karbon, silikon dan mangan juga ditambahkan unsur *chromium*, dimana semua unsur tersebut berpengaruh terhadap sifat mekanik dan pembentukan struktur mikro. Selain pengaruh unsur, ketebalan benda yang merupakan gambaran dari laju pendinginan juga berpengaruh terhadap sifat mekanik dan pembentukan struktur mikro [1]. *Factorial design study* digunakan pada penelitian ini untuk menganalisa secara bersamaan interaksi antara unsur paduan dan ketebalan benda terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro [2]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui interaksi antara unsur *chromium*, silikon dan laju pendinginan serta akibatnya terhadap nilai kekerasan, pembentukan struktur mikro dan ketahanan aus pada material EN-JN2019.

Factorial design digunakan untuk mempelajari interaksi antar variabel yang ada dan responnya terhadap output. Dari hasil penelitian ini, dapat digunakan dalam perancangan material benda cor, sehingga dapat digunakan saat penentuan komposisi kimia berdasarkan laju pendinginan (tebal benda) untuk mendapatkan nilai kekerasan, ketahanan aus dan struktur mikro yang diinginkan.

Terdapat berbagai jenis besi cor tahan abrasi, salah satunya adalah *unalloyed or low alloy abrasion resistant cast iron* yang berdasarkan standar *European Standard / Europäische Norm EN 12513 material number EN-JN2019*[3]. Material ini memiliki standar komposisi kimia dan kekerasan seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia dan Nilai Kekerasan Material EN-JN2019

| Komposisi kimia dalam % | | | | Vickers Hardness (HV) min. |
|-------------------------|-----------|-----------|---------|----------------------------|
| C | Si | Mn | Cr | |
| 2,4 - 3,9 | 0,4 - 1,5 | 0,2 - 1,0 | Max 2,0 | 350 |

Bahan Paduan

Pengaruh unsur paduan harus menjadi pertimbangan saat akan menentukan komposisi kimia dari benda cor. Hal ini dikarenakan komposisi kimia merupakan salah satu yang

dapat mempengaruhi *mechanical properties* dari suatu material. Berikut ini adalah pengaruh dari unsur-unsur paduan tersebut.

Karbon

Pengaruh karbon harus dipertimbangkan bersamaan dengan silikon dan Fosfor, karena ketiga unsur ini akan menentukan nilai *carbon equivalent (Carbon Equivalent Value* disingkat CEV). CEV akan berakibat pada kekuatan dan kekerasan dari benda cor [4].

Pada besi cor putih, kandungan karbon pada rentang 3,2–3,6% digunakan apabila besi cor lebih diinginkan besi cor ketahanan abrasi. Sedangkan bila kandungan karbon pada range 2,7–3,2 % bila lebih diinginkan besi cor memiliki mampu impact yang baik [4].

Silikon

Silikon adalah unsur yang mendorong terbentuknya grafit pada besi cor. Dengan kandungan silikon diatas 1,6% akan cenderung membentuk grafit, apabila kurang akan cenderung membentuk besi cor putih [4].

Selain itu pada besi cor putih, dengan adanya kandungan silikon akan meningkatkan keenceran dari cairan logam, untuk menghasilkan terak cair, dan berpengaruh terhadap kekerasan besi cor hasil pengecoran. Hal yang perlu dicatat adalah semakin tinggi kandungan silikon akan mendorong terbentuknya perlit [4].

Chromium

Penambahan sejumlah kecil dari *chromium* akan menekan pembentukan ferit bebas sehingga akan meningkatkan kekerasan. Penambahan *chromium* yang tinggi akan mengakibatkan pembekuan putih dan menyulitkan proses permesinan. *Chromium* 1% ditambahkan pada besi cor dengan tujuan khusus agar memiliki ketahanan gesek yang baik [1].

Chromium merupakan unsur pembentuk karbida yang kuat dan dapat menstabilkan karbida. Secara kimia dapat dijelaskan bahwa energi pembentukan karbida akan meningkat dengan peningkatan unsur *chromium* [5].

Mangan

Mangan dibutuhkan untuk menetralkan pengaruh sulfur pada besi cor. Tanpa kandungan mangan, sulfur akan berikatan dengan besi membentuk besi sulfida (FeS) pada batas butiran selama proses pembekuan yang akan mengakibatkan kekuatan dari besi cor tersebut

akan turun. Dengan penambahan mangan, sulfur akan berikatan dengan mangan membentuk mangan sulfida (MnS). Selain itu mangan juga berfungsi untuk mendorong terbentuknya perlit dan meningkatkan kekuatan dan kekerasan [1].

Struktur Matriks Perlit

Dibawah mikroskop, perlit (gabungan ferit dan Fe₃C) dapat terlihat berupa kumpulan barisan lapisan ferit dan lapisan Fe₃C secara bergantian. Struktur serpih yang bergantian antara lapisan ferit (lunak) dan lapisan Fe₃C (keras) menjadikan perlit sebagai struktur matriks yang sangat kuat dan tangguh [1].

Kekerasan, kekuatan, kemampuan permesinan dan ketahanan aus dari perlit tergantung dari kehalusan lapisan ini. Perlit halus dapat mencapai kekerasan lebih dari 300 HB, dan tidak dapat dilihat dibawah mikroskop [1].

Kandungan karbon pada perlit untuk baja tanpa paduan kira-kira mencapai 0,8%, tetapi pada besi cor kandungan karbon pada perlit bervariasi tergantung dari komposisi kimia dan laju pendinginan [1].

Karbida

Karbida pada besi cor putih dapat langsung diidentifikasi dengan adanya karbida primer padat, struktur ini dapat terbentuk disebabkan laju pendinginan yang cepat dan juga karena adanya unsur penstabil karbida [6]. Yang dimaksud dengan karbida padat adalah butiran karbida yang relatif tebal dan memiliki rasio yang rendah antara perbandingan panjang dan lebarnya, sehingga berbeda dengan serpihan karbida yang terdapat pada perlit yang tipis dan panjang. Istilah karbida primer diartikan sebagai karbida yang terbentuk selama proses pembekuan langsung dari besi cair dan bukan didapat dari proses perlakuan panas [4].

Laju Pendinginan

Laju pendinginan dapat di representasikan dengan ketebalan benda. Artinya benda yang lebih tebal akan mengalami laju pendinginan yang lebih rendah dibandingkan benda yang lebih tipis.

Laju pendinginan sangat berpengaruh terhadap struktur mikro pada besi cor. Pembekuan putih akan terbentuk apabila terdapat komposisi kimia yang tepat dan laju pendinginan yang cepat. Yang dimaksud dengan komposisi kimia yang tepat adalah terdapatnya unsur yang

dapat menyetabilkan karbida atau jumlah unsur pendorong terbentuknya grafit kurang (tidak mencukupi). Semakin lambat laju pertumbuhan maka pembekuan kelabu yang akan dominan terjadi, sebaliknya semakin cepat laju pertumbuhan maka pembekuan putih lebih dominan terjadi. Laju pendinginan yang cepat akan menyebabkan besi cor tersebut tidak memiliki waktu cukup untuk membentuk grafit [4].

Pengujian Keausan

Keausan dapat didefinisikan sebagai hilangnya material dari suatu permukaan yang disebabkan penguraian secara mekanik karena adanya gerakan relatif yang terjadi di permukaan antara suatu benda dengan benda lainnya [1].

Pada penelitian ini, pengujian keausan dilakukan dengan metode perbandingan pada beberapa sampel/benda kerja yang memiliki kekerasan yang berbeda. Sampel/benda kerja tersebut digesekkan (dengan kecepatan dan beban penekanan yang sama) dengan benda lain yang memiliki kekerasan lebih rendah dibandingkan sampel/benda kerja. Perbandingan kemudian dilakukan terhadap pengurangan berat dari sampel/benda kerja sebelum dan sesudah pengujian. Sampel/benda kerja yang lebih sedikit pengurangan beratnya dan lebih banyak mengurangi berat dari benda penggeseknya dinyatakan sebagai material yang memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan material yang mengalami kondisi sebaliknya.

BAHAN DAN METODE

Factorial design digunakan pada penelitian ini, untuk menyelidiki secara bersamaan efek beberapa variabel yang berlainan. *Factorial design* digunakan untuk merancang dan menentukan kombinasi pasangan dari variabel-variabel yang akan diteliti, dimana variabel-variabel tersebut akan dikombinasikan (disilangkan) dengan semua level variabel yang digunakan dalam penelitian [2].

Tujuan penggunaan *factorial design* adalah untuk melihat interaksi antara variabel-variabel yang diuji cobakan. Adakalanya variabel-variabel tersebut bersifat sinergi (positif) terhadap respon, namun bisa juga keberadaan salah satu variabel menghambat kinerja dari variabel yang lain (negatif) [7].

Pada penelitian ini yang dijadikan obyek penelitian adalah sampel dengan ketebalan 5 mm,

15 mm dan 30 mm. Ketebalan 15 mm dibuat khusus untuk pengujian impact. Komposisi paduan yang akan diteliti adalah kandungan *chromium* ditetapkan 1% dan 2%, silikon ditetapkan 1% dan 1,5%. Untuk kandungan karbon dibuat tetap 3,4%, begitu pula kandungan mangan dibuat tetap 0,8%. Sampel benda dibuat dalam bentuk balok dengan ukuran panjang dan lebar dibuat tetap sebesar 60 mm dan 30 mm. Rentang variasi target disajikan pada Tabel 2. Kode dan pasangan data disajikan di Tabel 3, dan variasi konsentrasi unsur-unsur disajikan di Tabel 4. Kode sampel disajikan di Tabel 5.

Tabel 2. Variasi Target Komposisi Kimia

| No.Variasi | %C | %Si | %Cr | %Mn |
|------------|-----|----------|-------|----------|
| 1 | 3,4 | 0,9-1,1 | 0,9-1 | 0,75-0,8 |
| 2 | 3,4 | 1,4-1,55 | 0,9-1 | 0,75-0,8 |
| 3 | 3,4 | 1,4-1,55 | 1,9-2 | 0,75-0,8 |
| 4 | 3,4 | 0,9-1,1 | 1,9-2 | 0,75-0,8 |

Tabel 3. Kode dan Pasangan Data

| Variabel | kode | - | + |
|----------------|------|---|-----|
| %Chrom | Cr | 1 | 2 |
| %Silikon | Si | 1 | 1,5 |
| Ketebalan (mm) | t | 5 | 30 |

Tabel 4. Variasi *Chromium*, Silikon dan Tebal Benda

| No | % Khrom (Cr) | %Silikon (Si) | Ketebalan Benda (mm) (t) |
|----|--------------|---------------|--------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 5 |
| 2 | 2 | 1 | 5 |
| 3 | 1 | 1,5 | 5 |
| 4 | 2 | 1,5 | 5 |
| 5 | 1 | 1 | 30 |
| 6 | 2 | 1 | 30 |
| 7 | 1 | 1,5 | 30 |
| 8 | 2 | 1,5 | 30 |

Tabel 5. Kode Pasangan Data dan Kode Sampel

| No. Variasi Pengecoran | Cr | Si | t | Kode sampel |
|------------------------|----|----|---|-------------|
| 1 | - | - | - | C1t5 |
| 2 | + | - | - | C2t5 |
| 3 | - | + | - | C3t5 |
| 4 | + | + | - | C4t5 |
| 1 | - | - | + | C1t30 |
| 2 | + | - | + | C2t30 |
| 3 | - | + | + | C3t30 |
| 4 | + | + | + | C4t30 |

Setelah menetapkan kode pasangan data dan kode sampel, kemudian dilakukan proses pengecoran logam. Sampel yang didapat dari hasil pengecoran logam kemudian dilakukan

pengujian komposisi kimia (metode OES), pengujian kekerasan, struktur mikro, *impact* dan keausan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian komposisi kimia disajikan pada Tabel 6.

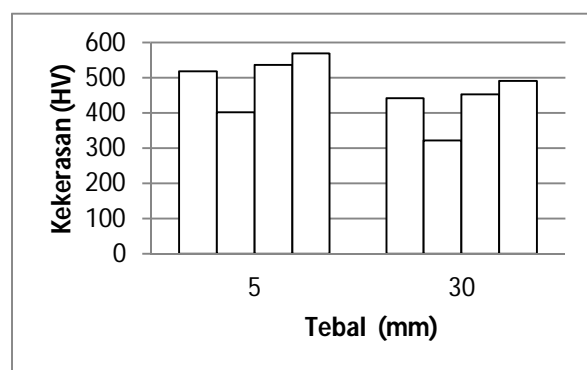
Tabel 6. Komposisi Kimia Hasil Pengecoran

| Variasi pengecoran | Komposisi kimia hasil pengecoran (%) | | | |
|--------------------|--------------------------------------|------|------|------|
| | C | Si | Cr | Mn |
| Cor ke 1 | 3,47 | 0,95 | 0,93 | 0,79 |
| Cor ke 2 | 3,41 | 1,47 | 0,94 | 0,78 |
| Cor ke 3 | 3,45 | 1,52 | 1,92 | 0,77 |
| Cor ke 4 | 3,42 | 1,03 | 1,91 | 0,75 |

Dari hasil pengujian komposisi kimia, dapat dilihat bahwa komposisi kimia dari proses pengecoran telah memenuhi *range* target yang ditetapkan. Hasil pengujian kekerasan dengan metoda Vickers disajikan pada Tabel 7 dibawah ini:

Tabel 7. Hasil Pengujian Kekerasan

| Kode Sampel | Rata-rata(HV) |
|-------------|---------------|
| C1t5 | 519,8 |
| C1t30 | 442,6 |
| C2t5 | 403,7 |
| C2t30 | 322,2 |
| C3t5 | 536,8 |
| C3t30 | 454,7 |
| C4t5 | 569,8 |
| C4t30 | 492,5 |



Gambar 1. Grafik Hubungan Kekerasan dan Tebal Benda

Dari Gambar 1 dapat dianalisa, benda dengan tebal 5 mm selalu memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan benda dengan tebal 30 mm (pada komposisi kimia yang sama). Hal ini disebabkan karena benda tipis

memiliki laju pendinginan yang lebih cepat, sehingga lebih cenderung terjadinya pembentukan karbida besi yang jauh lebih banyak dibandingkan benda yang lebih tebal. Laju pendinginan yang cepat akan menghambat pembentukan grafit. Dengan pembentukan grafit

yang sedikit, karbida akan terbentuk lebih banyak.

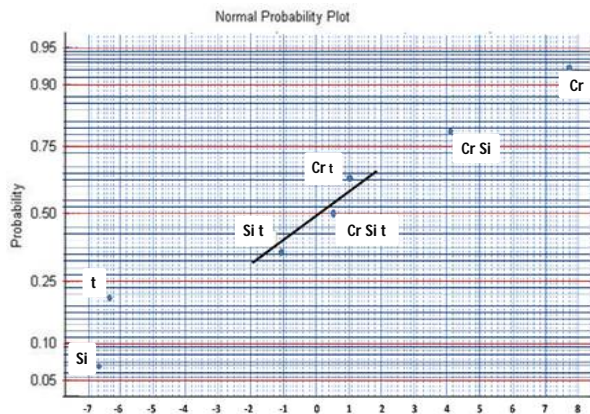
Hasil perhitungan dengan algoritma Yate's ditampilkan pada Tabel 8. Urutan tujuh *effect* dan *probability factor* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 8. Algoritma Yate's

| No | Algoritma | | | | | | Identifikasi |
|----|-------------------------------|--------|--------|--------|---------|----------|--------------|
| | run average y (Kekerasan HRC) | (1) | (2) | (3) | Divisor | Estimate | |
| 1 | 519,8 | 923,5 | 2030,1 | 3742,1 | 8 | 467,7625 | Average |
| 2 | 403,7 | 1106,6 | 1712 | -165,7 | 4 | -41,425 | Cr |
| 3 | 536,8 | 764,8 | -83,1 | 365,5 | 4 | 91,375 | Si |
| 4 | 569,8 | 947,2 | -82,6 | 307,3 | 4 | 76,825 | Cr Si |
| 5 | 442,6 | -116,2 | 183,1 | -318,1 | 4 | -79,525 | t |
| 6 | 322,2 | 33 | 182,4 | 0,5 | 4 | 0,125 | Cr t |
| 7 | 454,7 | -120,4 | 149,1 | -0,7 | 4 | -0,175 | Si t |
| 8 | 492,5 | 37,8 | 158,2 | 9,1 | 4 | 2,275 | Cr Si t |

Tabel 9. Urutan Tujuh *Effect* dan *Probability Points*

| order number (i) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------|--------|---------|--------|---------|-------|--------|---------|
| effect (sumbu x) | 91,375 | -79,525 | -0,175 | 2,275 | 0,125 | 76,825 | -41,425 |
| Identity of effects | Si | t | Si t | Cr Si t | Cr t | Cr Si | Cr |
| $P = 100(i - 1/2)/7$ | 7,1 | 21,4 | 35,7 | 50,0 | 64,3 | 78,6 | 92,9 |

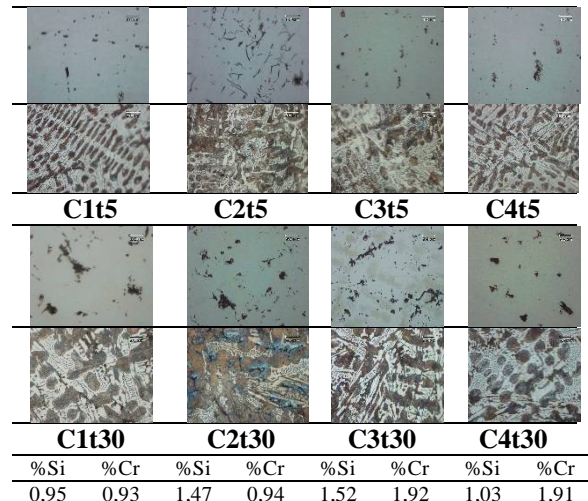


Gambar 2. Grafik *Probability Plots*

Dari hasil normal *probability plots* dapat disimpulkan hal-hal berikut:

- *Main effect* adalah ketebalan (t), silikon (Si) dan *chromium* (Cr).
- Ketebalan (t) sebagai representasi dari laju pendinginan merupakan *independent effect*, artinya ketebalan benda tidak dipengaruhi dengan variabel lain. Dengan menaikkan ketebalan dari 5 mm ke 30 mm akan menurunkan kekerasan untuk berapa pun variasi *chromium* dan silikon.
- *Interaction effect* adalah *chromium-silikon* (Cr-Si) sehingga tidak dapat ditafsirkan

secara terpisah, karena kedua unsur ini memberikan pengaruh yang saling berlawanan terhadap kekerasan yang dihasilkan.



Gambar 3. Hasil Pengujian Struktur Mikro

Dari hasil pengujian struktur mikro (Gambar 3) dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya unsur silikon, akan berakibat pada pembentukan grafit yang lebih banyak dan lebih besar serta akan meningkatkan fraksi perlit.

Disisi lain, bertambahnya unsur *chromium*, menekan pembentukan grafit dan fraksi perlit, sedangkan fraksi karbida akan semakin bertambah.

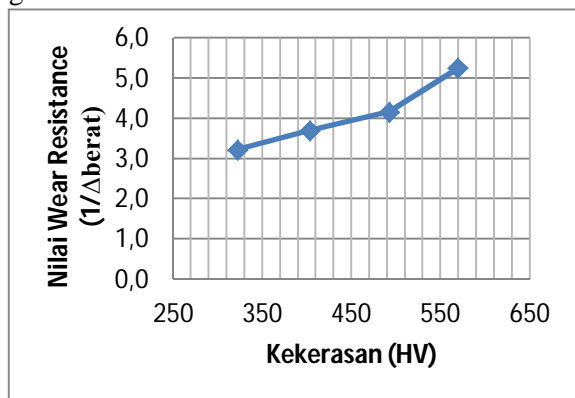
Pengujian *impact* dilakukan dengan menggunakan mesin uji *impact* tipe pendulum, pada temperatur kamar ($\pm 28^{\circ}\text{C}$). Benda uji yang digunakan adalah tipe tanpa takikan (*unnotched*) berukuran penampang 10 mm x 10 mm dan panjang 55 mm mengacu standar ASTM A327 dan E23. Hasil uji *impact* dengan metoda *charpy* disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Uji *Impact*

| Variasi pengecoran | Rata-rata energi yang diserap (Joule) | |
|--------------------|---------------------------------------|------------|
| | Tebal 15mm | Tebal 30mm |
| Cor ke 1 | 3,2 | 4,3 |
| Cor ke 2 | 4,3 | 4,3 |
| Cor ke 3 | 3,2 | 4,3 |
| Cor ke 4 | 4,3 | 4,3 |

Tabel 10 menunjukkan bahwa ketahanan *impact* besi cor ini sangat rendah dan hal ini menandakan bahwa besi cor ini memiliki sifat getas. Ukuran ketebalan benda dan komposisi kimia tidak banyak berpengaruh terhadap ketahanan *impact*. Bentuk karbida M_3C yang kontinyu menjadi penyebab rendahnya nilai *impact* besi cor ini.

Pengujian ketahanan aus pada penelitian ini, tidak dilakukan pada semua sampel benda cor. Pengujian hanya dilakukan pada 4 sampel benda cor yaitu sampel paling keras (C4t5), sampel paling rendah kekerasannya (C2t30) dan dua sampel yang kekerasannya berada diantara kedua sampel tersebut yaitu C2t5 dan C4t30. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan grafik nilai *wear resistance* yang disajikan pada gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. Grafik Nilai *Wear Resistance* Terhadap Kekerasan

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- Dari hasil *factorial design* terhadap laju pendinginan dan unsur paduan dari material EN-JN2019 dapat terlihat aspek-aspek berikut.
 - Laju pendinginan merupakan *independent effect* yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Dengan bertambahnya tebal benda dari 5mm sampai 30mm, maka laju pendinginan akan semakin lambat, sehingga fraksi karbida yang terbentuk akan semakin sedikit yang akan mengakibatkan kekerasan menurun. Sehingga dengan laju pendinginan yang semakin lama, maka harga kekerasannya akan menurun.
 - Chromium* dan silikon merupakan *interaction effect*, dan pengaruhnya terhadap kekerasan akan saling berlawanan.
 - Bertambahnya kandungan *chromium* dari 1% sampai 2% mengakibatkan fraksi karbida akan semakin banyak sehingga menekan pembentukan perlit dan grafit, yang akan berakibat langsung terhadap naiknya kekerasan.
 - Bertambahnya kandungan silikon dari 1% sampai 1,5% akan mengakibatkan fraksi karbida yang terbentuk akan semakin sedikit, dan akan menaikkan pembentukan perlit dan grafit, sehingga akan mengakibatkan turunnya kekerasan.
- Ketahanan aus terbaik dihasilkan pada unsur *chromium* 1,91%, silikon 1,03% dan pada ketebalan 5mm, dimana pada variasi ini memiliki fraksi karbida lebih banyak dari pada variasi yang lain, dan memiliki kekerasan tertinggi yaitu sebesar 569,8 HV.
- Material ini memiliki nilai *impact* yang rendah untuk berapa pun kandungan *chromium*, silikon dan laju pendinginan. Hal ini disebabkan karena bentuk karbida yang kontinyu, sehingga material ini tidak direkomendasikan untuk benda yang menerima beban *impact*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Walton, Charles F., Opar, Timothy J., *Iron Castings Handbook*, Iron Casting Society, Inc, 1981.
- [2] Box, G.E.P., Hunter, W.G., dan Hunter, J.S., *Statistics for Experiment, An Introduction To Design, Data Anaysis, and Model Building*, Jhon Wiley and Sons, Inc, 1978.
- [3] European Standard EN 12513, October 2000.
- [4] ASM Handbook Volume 15, *Casting*, ASM International, 1998.
- [5] Laird, George., Gundlach, Richard., and Klaus Röhrig, *Abrasion Resistant Cast Iron Handbook*, American Foundry Society, 2000.
- [6] Foseco : *Metallurgy & Production Of Grey & Ductile Iron*, 1988.
- [7] Vincent Gaspersz, *Teknik Analisis Dalam Penelitian Percobaan*, Tarsito Bandung, 1995.
- [8] Zhang Wanning, Song Dan, Zhang Hongbing, Li Deyuan, Yuan Xiaoguang ang Qiu Keqiang, *Microstrutures And Formations Mechanism Of Hypoeutectic White Cast Iron By Isothermal Electromagnetic Rheocast Process*, May 2010.
- [9] T. Alp and A.A Wazzan, *Microstruture-Property Relationship In Cast Iron*, October 2005.
- [10] A. Studnicki, J. Kilarski, M. Przybyl, J. Suchon, D. Bartocha, *Wear Resistance of Chromium Cast Iron- Research and Application*, Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering, June 2006.

