

PENGARUH PROSES *SPRAY QUENCHING* TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN LAJU KEAUSAN MATERIAL CREUSABRO 8000 DAN AISI 4140 PADA KOMPONEN *BUCKET TEETH*

Sigit Ngalambang S.Tr.

Moch. Ahyarsyah, S.ST., M.T ; Cecep Ruskandi S.T., M.T.

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jalan Kanyakan No 21 - Dago, Bandung – 40135

Phone/Fax : 022. 250 0241 / 250 2649

Email: sigit_ngalambang@yahoo.com

Abstract : *The aims of this research are (1) to find out the effect of distance on spray quenching process towards the hardness value and wear resistance for Bucket Teeth Components, and (2) to decided the best materials for Bucket Teeth by spray quenching process. This research use quantitative methods. It was carried out through following phases (1) Study literature, (2) Experiment design, (3) Sample preparation, (4) Heat Treatment and quenching process (4) Mechanical Testing then (5) Analyze and Result. The distance of spray quenching will be divided into three varied. Because, it is the most easily process to controlling the heat transfer on specimen. The examinations to determine the effect for this research are hardness test and following by jet erosion test to determine wear resistance.*

The result of this experiment shows that distance of spray quenching process are influential to hardness number and wear resistance of materials. The examination of AISI 4140 material which is proceed by hardening method under austenite temperature (<870°C) and then following by spray quenching method (2.5 m distance) results 34 HRC and wear resistance rate 0.00332 g/minute. Besides the microstructure of it which content upper bainite, martensite and ferrite is the most suitable material to use in bucket teeth product.

Keyword : *Bucket Teeth, hardness uniformity, Spray quenching, wear resistance rate and Jet Erosion Test.*

1. PENDAHULUAN

Pada dunia pertambangan terutama pada pertambangan terbuka, digunakan alat penggali yang disebut *Bucket Wheel*

Excavator (BWE). BWE adalah alat penggali skala besar yang digunakan untuk penggalian berkelanjutan. Komponen utama dari BWE ini adalah roda yang berukuran besar yang pada bagian tepinya terdapat *bucket*. Pada

ujung *bucket* terdapat gigi (*bucket teeth*) yang berfungsi untuk menggali bahan galian yang dapat berupa batubara dan lapisannya yang terdiri dari tanah, pasir, maupun lumpur.

Dalam pengaplikasiannya, masalah yang dihadapi adalah perbedaan nilai kekerasan pada satu *batch* komponen *bucket teeth*, patahnya komponen dan laju keausan yang tinggi. Untuk fenomena patah, tidak dapat ditolerir karena komponen tidak dapat digunakan dan akan mengganggu proses produksi. Sementara untuk fenomena keausan tidak dapat dihindari, sehingga masih terdapat toleransi untuk fenomena tersebut. Dengan syarat, laju keausannya rendah. Untuk keseragaman kekerasan dalam *batch* produksi komponen *bucket teeth*, dapat ditanggulangi dengan menggunakan proses *spray quench*. Proses ini telah digunakan oleh Rully Prasad Wibawa dalam tugas akhirnya yang berjudul “Penyeragaman Kekerasan Pada Produksi *Batch* Material AISI 4140 Melalui Metoda *Spray quenching*” pada tahun 2013.

Setelah dilakukan beberapa kajian, ditentukan material baru yang dianggap dapat memenuhi tuntutan dari komponen *bucket teeth*. Material tersebut adalah Creusabro 8000. Untuk keseragaman nilai kekerasan, proses *spray quenching* dianggap tepat untuk memenuhi tuntutan tersebut. Namun, optimalisasi dari proses *spray quenching* dianggap perlu dikembangkan pada material ini.

Pada metode *spray quenching*, penelitian yang dilakukan baru sebatas mengukur nilai keseragaman kekerasan dari material. Oleh karena itu, mengingat laju keausan juga

menjadi salah satu tuntutan dari komponen *bucket teeth*, melalui penelitian ini akan dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh dari proses *spray quenching* terhadap laju keausan dari komponen tersebut pada dua material yang berbeda. Pengujian langsung di lapangan tidaklah praktis, sehingga pengujian dilakukan pada skala laboratorium. Hasil dari pengujian di laboratorium diharapkan dapat menjadi dasar pemilihan material yang tepat untuk digunakan sebagai material *bucket teeth*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

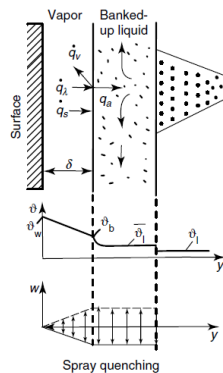
Quenching merupakan proses pendinginan secara cepat pada suatu material dari temperature austenisasinya, pada baja biasanya berkisar pada temperatur 815-870 °C. Proses *quenching* memiliki beberapa tujuan, diantaranya menghindari pertumbuhan butiran karbida dan yang paling umum digunakan adalah untuk mengendalikan pertumbuhan martensite pada struktur mikro. (ASM Handbook Vol. 4, hal.160)

2.1 *Spray quenching*

Spray quenching adalah salah satu metode dalam proses pendinginan material pasca proses *heat treatment*. Prinsip dari *spray quenching* adalah menyemprotkan cairan bertekanan tinggi dari *nozzle* secara langsung pada bagian permukaan benda yang diinginkan untuk mengalami laju pendinginan yang tinggi, sehingga memungkinkan melokalisasi tempat pendinginan. Menurut ASM Handbook Volume 4, laju pendinginan sangat cepat karena tetesan quenchant terbentuk oleh intensitas penyemprotan material *quenching*

yang tinggi pada permukaan material dan melepaskan panas dengan sangat efektif. Kelebihan utama dari *spray quenching* dibandingkan dengan proses pencelupan (*immersion quench*) adalah tingkat dari perpindahan panas bisa dikendalikan selama proses pendinginan dengan bervariasi kuantitas dari cairan yang di semprotkan.

Pada proses *spray quenching*, terbentuk lapisan kabut pada permukaan benda sehingga cairan tidak langsung mengalami kontak dengan permukaan benda. Jumlah titik air pada permukaan disebut *impingement density*.



Gambar 2.2.1 Heat balance pada lapisan didih di daerah batas permukaan spray-cooled dan daerah distribusi temperatur dan kecepatan aliran air.^[12]

Pada suatu kondisi tertentu, pada bagian *vapor blanket* dapat mengalami kondisi jenuh. Ini mengakibatkan perpindahan panas tidak lagi signifikan. Sehingga pada titik tersebut, perubahan struktur mikro pada material tidak lagi terlalu berpengaruh terhadap kuantitas *quenchant* yang disuplay.

Kondisi jenuh ini dipengaruhi oleh beberapa factor, diantaranya jarak penyemprotan, debit *quenchant* yang disemprotkan dan tekanan yang diberikan.

Untuk penelitian ini debit *quenchant* (air) dan tekanan udara disamakan, sedangkan jarak penyemprotan yang dibedakan.

2.2 Material AISI 4140

AISI 4140 merupakan material baja yang masuk pada kategori *Ultrahigh Strength Steel* dengan standar AISI. Penamaan 4140 memberikan dua informasi. Angka 41 menunjukkan bahwa material terdiri dari dua unsur paduan khusus yaitu *Chromium & Molybdenum*. Angka 40 menunjukkan kandungan karbon pada material ini berkisar sebesar 0.4%. Material ini digunakan pada penggunaan yang menuntut kombinasi antara kekerasan sedang dan kekuatan dan ketangguhan yang baik, namun pada kondisi penggunaan yang tidak terlalu berat.

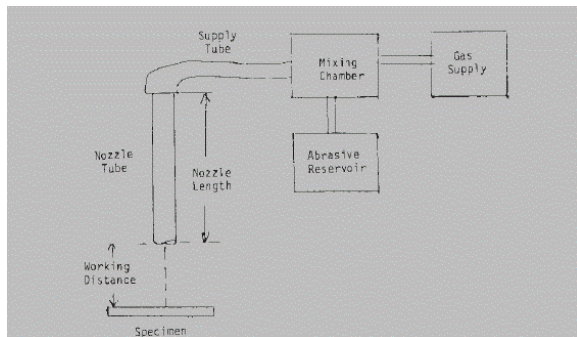
2.3 Material Creusabro 8000

Creusabro ® adalah baja *wear resistant* dengan nilai tambah tinggi, ditujukan untuk aplikasi abrasi khusus dengan kondisi penggunaan yang ekstrim. Hal ini dirancang sebagai kelanjutan dari produk tahan abrasi standar (*conventional water quenched steel*). Creusabro 8000 merupakan material tahan abrasif dengan nilai tambah didalamnya. Selain memiliki ketahanan terhadap beban gesek, material ini juga tahan terhadap beban impact. Hal ini disebabkan adanya TRIP (*Transformation Induced by Plasticity*) efek pada material. TRIP pada kasus ini adalah hadirnya *metastable austenite phase* pada temperatur ruangan. Setelah dikenakan beban thermal ataupun mekanik, *metastable austenite phase* dapat bertransformasi menjadi menjadi fasa martensit yang sangat keras (*Work Hardening*). Hal tersebut dapat

meningkatkan kekerasan pada material secara signifikan. Efek dari TRIP adalah material memiliki kombinasi antara ketahanan aus dan ketangguhan. Ini yang menyebabkan material ini cocok untuk digunakan sebagai komponen untuk tambang khususnya penggalian (*gouging*).

2.4 Jet Erosion Test

Jet erosion test adalah salah satu metode untuk mengukur ketahanan aus ketahanan aus suatu material, Dalam pengujian ini, suatu material yang diuji ketahanan ausnya ditembak dengan gas yang telah dicampur dengan partikel dengan partikel abrasif. Mekanisme tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Jet Erosion Test [3]

Terdapat fenomena impact pada saat partikel abrasif menumbuk permukaan spesimen. Partikel abrasif yang digunakan adalah Al_2O_3 . Parameter dalam pengujian ini diantaranya kecepatan partikel abrasif, jumlah partikel abrasif yang keluar dari *nozzle* dalam setiap menit serta sudut kontak antara permukaan spesimen dengan partikel abrasif. Pada alat *jet erosion test* yang terdapat di Laboratorium Teknik Material

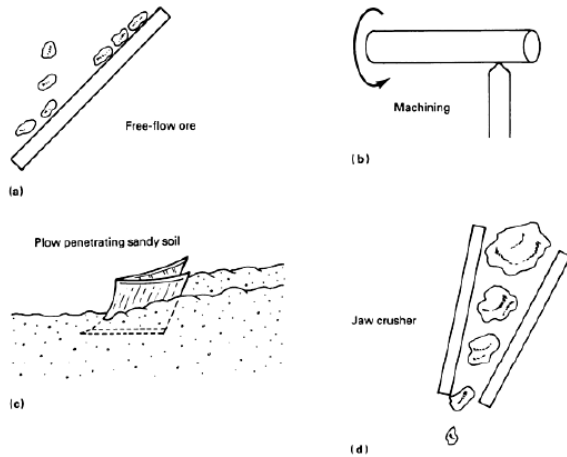
ITB, kecepatan maksimum partikel abrasif adalah 100m/s sedangkan jumlah maksimum partikel abrasif dari *nozzle* adalah 5 gram/menit.

2.5 Keausan Abrasif

Keausan abrasif terjadi ketika suatu partikel yang keras mengalami kontak yang mengenai suatu permukaan padat. Keausan sendiri didefinisikan sebagai ketahanan suatu benda padat terhadap hilangnya partikel-partikel pada permukaan padatan tersebut akibat kontak dengan suatu substansi.^[1]

Keausan yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya karakteristik dari kedua material yang saling mengalami kontak, kecepatan kontak dan kondisi lingkungan tempat terjadinya kontak. Secara umum, hilangnya partikel pada material tidaklah diharapkan.

Abrasi dikategorikan pada beberapa tipe kontak, dalam hal ini adalah kontak dengan lingkungan. Tipe kontak terdiri dari *two-body* dan *three body wear*. Tipe pertama terjadi ketika beban abrasi mengenai sepanjang permukaan benda. Sedangkan tipe kedua terjadi ketika beban abrasi mengenai dua permukaan satu sama lain. *Two-body system* biasanya mengalami kehilangan partikel 10 sampai 100 kali lebih sedikit dibanding *three-body system* untuk beban dan panjang lintasan yang mengalami keausan. Kondisi kontak dibedakan menjadi dua, yaitu kondisi terbuka (*open*) dan tertutup (*closed*) seperti pada gambar 2.3.



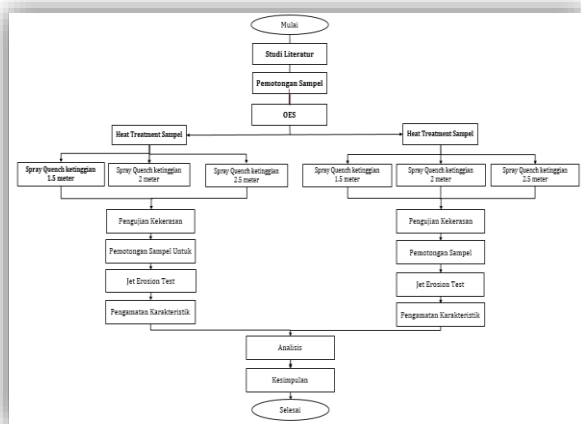
Gambar 2.3 Tipe kontak pada keausan abrasi. (a) open two-body (b) closed two-body (c) open three-body dan (d) closed three-body. [5]

2.6 Bainite

Bainit merupakan fasa yang terbentuk dibawah temperatur pembentukan perlit dan diatas temperatur pembentukan martensit. Bainit terbentuk karena proses pendinginan yang lebih cepat dari perlit namun lebih lambat dari martensit. Bainit terbagi menjadi dua jenis, yaitu *upper bainit* dan *lower bainit*.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Perancangan Percobaan

Perancangan percobaan dilakukan untuk mendekati fenomena keausan pada *bucket teeth* saat diaplikasikan pada pertambangan batubara dengan pengujian di laboratorium. Serta upaya untuk mengidentifikasi proses *spray quench* mana yang paling optimal untuk digunakan pada material *bucket teeth*. Untuk pengujian kekerasan, digunakan alat uji kekerasan *portable* yaitu Rockwell portable hardness test. Kemudian, untuk mengukur fenomena keausan pada material digunakan metoda pengujian jet erosion test yang ada di Laboratorium Metalurgi Teknik Material ITB.

3.4 Spesimen Bucket Teet

Spesimen *bucket teeth* yang digunakan sebanyak 6 spesimen terdiri dari 2 material berbeda (masing-masing 3 spesimen per material).

Untuk karakteristik komposisi, digunakan mesin uji OES yang ada di Laboratorium Pengujian Polman Bandung. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut :

Table 3.1 Komposisi Spesimen Uji

Spesimen	Komposisi (%)						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
C 8000	0.26	1.00	1.25	1.33	0.39	0.25	0.03
AISI 4140	0.35	0.76	0.26	1.05	0.23	0.21	0.04

Untuk memudahkan proses pengujian, dilakukan penamaan spesimen sesuai dengan material dan jarak penyemprotan yang dilakukan pada masing masing spesimen tersebut. Penamaan yang dilakukan tertera pada table 3.2.

Table 3.2 Penamaan spesimen

Material	Jarak Penyemprotan (m)	Kode Spesimen
C 8000	2.5	C1
C 8000	2	C2
C 8000	1.5	C3
AISI 4140	2.5	A1
AISI 4140	2	A2
AISI 4140	1.5	A3

3.5 Proses *Heat Treatment* (HT)

Proses *Heat Treatment* dilakukan pada seluruh spesimen uji. Berikut merupakan proses *heat treatment* yang akan dilakukan :

Table 3.3 Proses Heat Treatment

Nama Material	Jenis HT	Temperatur (°C)
AISI 4140	Normalizing	875
	Hardening	875
Creusabro 8000	Normalizing	925
	Hardening	925

3.6 Proses *Spray Quenching*

Proses *spray quenching* yang dilakukan dengan memvariasikan jarak penyemprotan pada tiga jarak. Jarak yang digunakan tertera pada pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Jarak penyemprotan

No	Jarak Penyemprotan	Keterangan
1	1.5 meter	-
2	2 meter	Jarak optimum yang didapatkan oleh Rully Prasad W. pada penelitiannya pada tahun 2014.
3	2.5 meter	-

Mesin yang digunakan untuk proses spray quench adalah MultiPro High Preassure Washing Machine dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tekanan normal : 7.5 MPA (75 bar)
- Tekanan max : 11 MPA (110 bar)
- Temperatur max : 60 °C
- AC (Daya) : 230/240 V 1KW
- Q (debit out max) : 5.2 liter/min

3.7 Pengujian Mekanik

Pengujian mekanik dilakukan untuk mendapatkan data nilai kekerasan dan keausan dari material yang diuji. Untuk pengujian kekerasan menggunakan mesin uji Rockwell Hardness Portable Test sedangkan untuk pengujian keausan digunakan mesin *Jet Erosion Test* dengan pengaturan sebagai berikut :

Tabel 3.5 Parameter Uji Jet Erosion Test

Parameter Pengujian	Simbol	Nilai
Jari-Jari Partikel Alumina	R	25 µm
Discharge Rate	dr	5 gr/menit

		(8.3 x 10 ⁻⁵ kg/s)
Kecepatan Partikel	vp	100 m/s
Sudut Kontak	θ	30°
Waktu Pengujian	t	15 menit

3.8 Pengujian Karakteristik Mikro Struktur

Pengamatan struktur mikro diambil pada bagian yang berdekatan dengan spesimen untuk pengujian *jet erosion test*. Bertujuan untuk mempermudah proses analisis dan menghubungkan pengaruh struktur mikro terhadap laju keausannya.

Langkah awal dari pengujian ini adalah dengan mempersiapkan spesimen uji dengan alat gerinda potong (gambar 3.7). Setelah itu, dilakukan proses *grinding* menggunakan mesin *grinding and polishing* dengan kertas amplas no 120, 180, 600, dan 1000. Setelah dilakukan proses *polishing*, spesimen di etsa dengan bahan etsa nital 3%. Bertujuan untuk menkorosikan permukaan sample agar dapat diidentifikasi oleh mikroskop optic.

4. DATA PERCOBAAN DAN ANALISIS

Tabel 4.1 menunjukkan hasil uji kekerasan *as-normalized*. Sedangkan tabel 4.2 menunjukkan hasil uji kekerasan *as-hardened* yang dilanjutkan dengan proses *spray quenching* yang dilakukan dengan membedakan jarak penyemprotan pada spesimen uji. Seluruh pengujian kekerasan pada spesimen uji dilakukan pada beberapa bagian benda yang dianggap memiliki perbedaan geometri yang signifikan. Hal itu bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat

perbedaan yang signifikan pada seluruh bagian benda atau tidak. Bagian-bagian benda tersebut pada gambar 4.1.

Table 3.3 Nilai Uji Kekerasan *as-normalized*.

Kode Spesimen	Nilai Spesimen (HRC)		
	Bagian 1	Bagian 2	Bagian 3
C1	27	32	30
C2	31	35	31
C3	31	33	30
A1	< 20	25	27
A2	< 20	22	-
A3	< 20	22	29



Gambar 4.1 Bidang Uji Pengujian Kekerasan

Pada table 4.1 terlihat bahwa setelah melalui proses normalizing, nilai kekerasan pada kedua material cenderung seragam dan tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Itu menggambarkan bahwa struktur mikro tiap sampel pada masing-masing material pada kondisi *as-normalizing* cenderung seragam. Jika diperhatikan, pada table 4.2, nilai kekerasan pada bagian 3 cenderung lebih rendah dibanding bagian 1 dan 2. Hal ini terjadi karena pada bagian 3 tidak terlalu terpengaruh oleh proses *spray quenching* karena bagian 3 berada pada bagian bawah dari kondisi penyemprotan. Kondisi ini tidak menjadi masalah, karena tuntutan penggunaan di lapangan yang mengharuskan bagian 3 ini memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding dengan bagian 1 dan 3 guna menghindari patah saat penggunaan.

Table 3.4 Nilai Uji Kekerasan Proses *Spray quench*.

Kode Spesimen	Jarak Semprot (meter)	Nilai Spesimen (HRC)		
		Bagian 1	Bagian 2	Bagian 3
C1	2.5	36	32	32
C2	2	39	33	35
C3	1.5	40	35	33
A1	2.5	34	30	30
A2	2	38	32	-
A3	1.5	39	33	30

Mengacu pada table 4.2, bahwa nilai kekerasan dari material Creusabro 8000 dan AISI 4140 dipengaruhi oleh jarak penyemprotan. Semakin jauh jarak penyemprotan maka nilai kekerasan yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Karena, semakin jauh jarak semburan dan semakin lebar permukaan yang disemur maka ukuran titik air yang di spray akan semakin kecil, sehingga dapat mempengaruhi aliran cairan dan laju perpindahan panas yang terjadi (Totten, 1992). Semakin kecil ukuran titik air yang disemurkan, maka perpindahan panas akan menjadi lebih lambat sehingga pendinginan pun akan lebih lambat.

4.2 Hasil Uji Kekerasan dan Jet Erosion

Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian *Jet Erosion Test*. Dari hasil pengujian dapat diamati bahwa nilai kekerasan berbanding terbalik dengan laju keausannya. Kondisi ini menunjukkan bahwa apa yang dikemukakan oleh Khruhschov^[10] bahwa laju keausan dan nilai kekerasannya memiliki hubungan yang terbalik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hal ini berlaku pada material AISI 4140 dan Creusabro 8000.

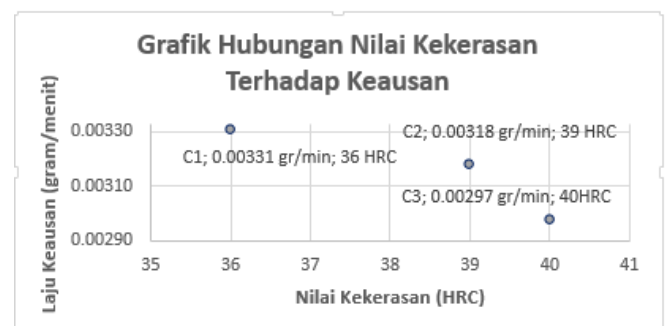
Tabel 4.3 Hasil Pengujian

Spesimen	Jarak Semprot (meter)	Nilai Kekerasan (HRC)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Weight Loss (gram)	Laju Keausan (gr/menit)
C1	2.5	36	18.6936	18.644	0.0496	0.00331
C2	2	39	18.4905	18.4428	0.0477	0.00318
C3	1.5	40	18.4206	18.376	0.0446	0.00297
A1	2.5	34	19.0951	19.0453	0.0498	0.00332
A2	2	38	18.0861	18.0368	0.0493	0.00329
A3	1.5	39	18.3748	18.3262	0.0486	0.00324
Gagal	-	62 HRB	17.7615	17.7098	0.0517	0.00345

Jika dilihat dari intensitas energi yang terjadi, pada kondisi pengujian *jet erosion test* memiliki intensitas energi yang lebih rendah dibanding dengan pemakaian di lapangan. Sehingga, pada kondisi pemakaian di lapangan akan memiliki laju keausan yang lebih tinggi dibanding dengan laju keausan yang terdapat pada table 4.3.

4.3 Analisis Pengujian Spesimen Creusabro 8000




Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan nilai kekerasan terhadap laju keausannya yang merupakan hasil dari pengujian keausan *jet erosion test* pada material Creusabro 8000.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Nilai Kekerasan Terhadap Keausan Creusabro 8000

Tabel gambar 4.3 menunjukkan struktur mikro material creusabro 8000.

Gambar 4.3 Struktur mikro Creusabro 8000

Gambar	Jarak Semprot
 <p data-bbox="251 661 553 793">Struktur mikro upper bainite, perbesaran 100x, etsa nital 3%.</p>	2.5 meter
 <p data-bbox="251 1018 553 1188">Struktur mikro lower bainite + martensite, perbesaran 100x, etsa nital 3%.</p>	2 meter
 <p data-bbox="251 1413 553 1579">Struktur mikro lower bainit + martensite, perbesaran 100x, etsa nital 3%.</p>	1.5 meter

Jika diamati, berdasarkan hasil uji mekanik, semakin jauh jarak penyemprotan, nilai kekerasan semakin rendah dan laju keausan semakin tinggi. Sedangkan pada jarak 2 dan 1.5 meter nilai kekerasan relative sama (39 dan 40 HRC). Hal ini didukung oleh data

gambar struktur mikro yang menjelaskan bahwa, pada jarak penyemprotan terjauh, terbentuk struktur upper bainit. Sedangkan untuk dua jarak yang lebih rendah terbentuk lower bainit. Ini menjelaskan alasan bahwa pada jarak semprot 2.5 meter terbentuk upper bainit sehingga nilai kekerasannya lebih rendah dari material yang disemprot pada jarak 2 dan 1.5 meter yang memiliki struktur lower bainit. Hal ini terjadi karena, pada jarak semprot 2.5 meter, perpindahan panas yang terjadi tidak lebih cepat dari jarak 2 dan 1.5 meter. Ini memungkinkan pada saat proses *quenching*, temperature pada sample berada pada kisaran 500°C (temperature pembentukan upper bainit). Sedangkan pada jarak 2 dan 1.5 meter temperature pada sample lebih rendah dari 500°C, yaitu sekitar 300°C (temperature pembentukan lower bainit) sehingga nilai kekerasan akan lebih tinggi dibanding specimen dengan struktur mikro upper bainit.

Sebab terbentuknya nilai kekerasan yang relative sama antara specimen C2 dan C3 adalah, pada jarak 2 meter, kondisi *impingement density* pada specimen uji sudah mencapai titik jenuhnya, hal ini berakibat tidak terjadi perpindahan panas yang signifikan sehingga mikro struktur yang akan terbentuk pada jarak penyemprotan kurang dari 2 meter akan relative sama dengan jarak semprot 2 meter.

4.4 Analisis Pengujian Spesimen AISI 4140


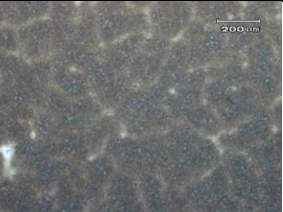

Gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan nilai kekerasan terhadap laju keausannya yang merupakan hasil dari pengujian keausan *jet erosion test* pada material AISI 4140.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Nilai Kekerasan Terhadap Keausan AISI 4140

Tabel gambar 4.5 menunjukkan struktur mikro material AISI 4140.

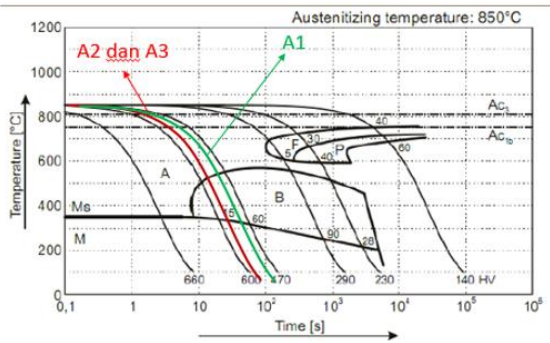
Gambar 4.3 Struktur mikro Creusabro 8000

Gambar	Jarak Semp rot
 <p>Struktur mikro <i>upper bainite</i> + <i>martensite</i> + <i>ferite</i> perbesaran 100x, etsa nital 3%.</p>	2.5 meter
 <p>Struktur mikro <i>upper bainite</i> + <i>martensite</i> + <i>ferite</i> perbesaran 100x, etsa nital 3%.</p>	2 meter
 <p>Struktur mikro <i>upper bainite</i> + <i>martensite</i> + <i>ferite</i></p>	1.5 meter

perbesaran 100x, etsa nital 3%.	
---------------------------------	--

Nilai kekerasan spesimen A1 sekitar 34 HRC, A2 sekitar 38 HRC dan A3 sekitar 39 HRC. Seluruh nilai tersebut berada pada rentang kekerasan struktur binit. Pada gambar 4.5, jika dilihat dari morfologi struktru mikro spesimen A1, A2 dan A3 terdapat tiga struktur mikro yang berbeda. Yaitu, *upper* bainit + martensit + ferit. Penyebaran dari *upper* bainit cenderung merata. Jika mengacu pada CCT diagram dari material AISI 4140, pendinginan dari spesimen A1, A2 dan A3 menyentuh hidung bainit dan martensit. Namun, kehadiran ferit tidak seharusnya terjadi. Ke abnormalan ini terjadi kemungkinan karena mesin heat treatment yang digunakan hanya terkalibrasi hingga temperatur 600 °C, sedangkan dalam penggunaannya, temperatur yang digunakan mencapai 870 °C. Hal ini memungkinkan, indikator yang ditampilkan pada mesin pada temperatur austenisas AISI 4140 (875 °C) bukan temperatur sesungguhnya di dalam mesin. Kemungkinan temperatur di dalam mesin kurang dari itu. Sehingga, karena belum mencapai temperatur austenisasinya, sehingga ferit pada material belum larut seluruhnya sehingga pada kondisi *as-hardened* masih terdapat ferit. Selain itu, jika dilhiat dari nilai kekerasan pada gambar 4.6, dengan kondisi pendinginan seperti itu, idealnya didapatkan nilai kekerasan sekitar 45-55 HRC, pada kenyataannya nilai kekerasan spesimen A1, A2 dan A3 hanya berada pada kisaran 34-39 HRC. Ini semakin menguatkan bahwa kehadiran ferit dalam struktur mikro

berkontribusi pada penurunan nilai kekerasan material dibanding kondisi idealnya.



Gambar 4.6 Diagram CCT AISI 4140^[1]

Jika kita gunakan diagram CCT, dapat dilihat bahwa proses pendinginan specimen A1 kemungkinan lebih lama dibanding A2 dan A3 sehingga menghasilkan jumlah martensit yang lebih sedikit dan menyebabkan nilai kekerasan yang lebih rendah. Untuk kondisi specimen A2 dan A3, terjadi hal yang sama seperti specimen C2 dan C3, yaitu pada jarak penyemprotan 2 meter dan kurang dari itu, kondisi impingement density sudah mencapai titik jenuh sehingga tidak lagi berpengaruh pada perpindahan panas dan pembentukan struktur mikro. Hal ini menjadi sebab terjadinya kesamaan antara struktur mikro yang terbentuk dan nilai kekerasannya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari kajian pustaka dan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin dekat jarak penyemprotan, semakin meningkatkan nilai kekerasan dari kedua material. Namun, jarak penyemprotan kurang dari 2 meter tidak memberikan perbedaan kekerasan yang

signifikan, karena pada jarak tersebut kondisi titik air pada permukaan benda sudah mencapai kondisi jenuhnya.

2. Untuk komponen *Bucket Teeth* pada ketebalan 5 cm, material yang memenuhi spesifikasi nilai kekerasan (30-35 HRC) adalah material dengan kode specimen A1. Yaitu material AISI 4140 dengan nilai kekerasan 34 HRC. Laju keausan sebesar 0.00332 gram/menit yang diuji dengan mesin Jet Erosion Test. Diproses hardening pada temperatur dibawah temperatur austenisasinya dengan pendinginan *spray quenching* pada jarak 2,5 meter dan debit air 5.2 liter/menit. Menghasilkan struktur mikro *upper bainit + martensite + ferit*.
3. Pada material AISI 4140 dan Creusabro 8000, nilai kekerasan yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai ketahanan ausnya.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan dari penelitian ini, diantaranya :

1. Sebaiknya, penelitian ini dilanjutkan dengan pengujian impak. Dikarenakan ketahanan impak menjadi salah satu tuntutan pada komponen *bucket teeth*.
2. Dengan mengatur debit air dan jarak semprot, proses *spray quenching* dapat digunakan untuk menentukan nilai kekerasan dari material AISI 4140 dengan dibantu diagram CCT AISI 4140.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abrams Premium Stahl, Division der Abrams Engineering Service.
- [2] American Society for Testing and Materials. Designation G 18-00 : *Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*.
- [3] American Society for Testing and Materials. Designation G 50-76 : *Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Test on Metals*.
- [4] ASM International Handbook Committee. *ASM Handbook Volume 4 : Heat Treating*. United States of America, 1991.
- [5] ASM International Handbook Committee. *ASM Handbook Volume 18 : Friction, Lubrication and Wear Technology*. United States of America, 1991.
- [6] Bhadeshia, H.K.D.H. *Steels Microstructure and Properties*. Redwood Books Ltd. Trowbridge, 1995.
- [7] Bhadeshia, H.K.D.H. *Bainitic In Steel*. IOM Communication Ltd. Colchester. 2001.
- [8] Ginzburg, Vladimir B.; Ballas, Robert (2000), *Flat rolling fundamentals*, CRC Press, pp. 141–142, [ISBN 978-0-8247-8894-0](https://doi.org/10.1081/9780824788940). Diakses via http://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent_carbon_content tanggal 12 Agustus 2014.
- [9] M.M. Khrushchov and M.A. Babichev, *An Investigation of the Wear of Metals and Alloys by Rubbing on an Adhesive Surface, Friction and Wear in Machinery*, Vol 12, 1958, p 1-13.
- [10] Naim, Idlhar. 2013. *Fenomena Keausan Pada Wheel Bucket Teeth dan Peningkatan Ketahanan Ausnya*. Tugas Akhir Sarjana pada Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung.
- [11] Totten, George E. *Quenching and Quenching Technology*. United State of America, 1992.
- [12] Totten, George E. *Steel Heat Treatment Handbook*. Taylor & Francis Group. New York, 2006.
- [13] www.creusabro.com. Diakses tanggal 20 April 2014.