



## Pengaruh Proses *Quenching* Dan *Tempering* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit

Iman Saefuloh<sup>1\*</sup>, Haryadi<sup>1</sup>, Abdurrofi Zahrawani<sup>1</sup>, Bintang Adjiantoro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia

<sup>2</sup>Umbaga Ilmu Pengetahuan Indonesiani, Jakarta, Indonesia

\*Email: [naylasyifa73@yahoo.co.id](mailto:naylasyifa73@yahoo.co.id)

### INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 17/05/2018  
Naskah Direvisi 21/05/2018  
Naskah Disetujui 21/05/2018  
Naskah Online 21/05/2018

### ABSTRAK

*Kemajuan teknologi membuat produksi baja nasional terus dikembangkan dengan bahan baku yang lebih baik. Pada Penelitian ini dikembangkan baja berkualitas unggul dari biji nikel (Limonit). Disebut bahwa, Limonit ini di produksi melalui endapan bijih besi laterit yang merupakan lapisan atas dari saprolit (bijih nikel kadar tinggi). Dengan proses pengolahan kandungan Limonit melalui inovasi tersendiri, pengembangan yang menghasilkan sifat baja yang unggul. Untuk mengetahui lebih lanjut tentang keunggulan baja Laterit, dilakukan penelitian terhadap pengaruh unsur didalam baja Laterit. Dengan melakukan proses heat treatment (quenching dan tempering) dapat meningkatkan sifat mekanik dan struktur mikro pada baja laterit. Dengan beberapa analisis pengujian yaitu uji kekerasan, uji impak dan perubahan struktur mikro. Pada uji kekerasan quenching air memiliki kekerasan tertinggi 459,7 HV. Pada uji impak quenching udara tempering 300°C memiliki nilai impak tertinggi 1,625 J/mm<sup>2</sup>. Pada pengujian metalografi perubahan struktur mikro yang terbentuk adalah martensit, bainit, ferit, pearlite dan austenite sisa. Dan pada pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) bentuk patahan yang terbentuk dari hasil uji impak adalah getas dan ulet*

**Kata kunci:** *Baj Laterit, Heat Treatment, Sifat Mekanik, Struktur Mikro*

### 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan bijih laterit terbesar di dunia. Kandungan nikel yang berasal dari bijih laterit merupakan salah satu bahan baku dalam industri baja.

Melihat dari cadangan bahannya yang sangat banyak, serta kekuatannya yang tinggi karena mengandung nikel, maka produksi baja yang dibutuhkan tidak sebanyak seperti menggunakan baja yang ada di pasaran. Dengan adanya baja laterit, produsen tidak perlu mengimpor bahan baku dari negara lain.

Bahan baku baja laterit diambil melalui endapan bijih besi laterit atau bijih besi yang mengandung kadar nikel rendah. Bijih laterit ini biasa diabaikan penambang karena faktor ekonomis dan lebih mencari nikel yang berada dibawah lapisan limonit.

Karena baja laterit ini merupakan bahan alternatif pada produksi baja, maka diperlukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dari baja laterit. Untuk mengetahui karakteristik dari baja laterit dapat dilakukan dengan uji kekerasan, uji impak dan analisa struktur mikro. Sehingga hasil dari karakteristik baja laterit ini dapat diaplikasikan dalam berbagai kebutuhan yaitu sebagai material untuk *grinding balls* pada mesin peremuk (*crusher*) dan mesin penggerus (*grinder*) yang membutuhkan nilai kekerasan dan ketangguhan yang tinggi.

Baja adalah paduan logam yang tersusun dari besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur penguat. Unsur karbon banyak berperan sebagai peningkatan kekerasan. Baja dapat diklasifikasikan menjadi beberapa

jenis baja yaitu baja karbon dan baja paduan (*alloy steel*). (Amstead, 1993)

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon. Karbon merupakan unsur penguat besi yang efektif. Oleh karena itu, sebagian besar baja hanya mengandung karbon dan sedikit unsur paduan lainnya. (Smallman, 1985)

Baja karbon digolongkan menjadi 3 yaitu :

1. Baja karbon rendah.  
Baja yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%.
2. Baja karbon menengah.  
Baja yang memiliki kandungan karbon antara 0,3% sampai 0,7%.
3. Baja karbon tinggi.  
Baja yang memiliki kandungan karbon antara 0,7% sampai 1,4%.

Laterit adalah nama umum untuk mineral yang berupa tanah merah sebagai akibat dari pelapukan batuan asal di daerah tropik atau subtropik dengan bantuan adanya hujan dan panas.

Secara kimia bijih laterit dicirikan oleh adanya sisa-sisa besi, alumina, dan pelarut dari silika. Sebagai akibatnya aluminium akan banyak berupa bauksit dan nikel akan banyak berupa *garnierite*. Maka laterit akan mengandung kedua material itu atau salah satu dari keduanya.

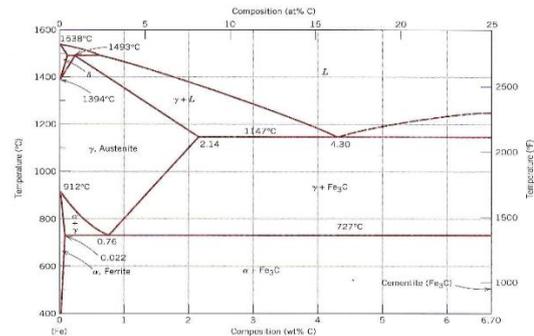
Secara umum nikel laterit diartikan sebagai suatu material dengan kandungan besi dan aluminium sekunder sebagai hasil proses pelapukan yang terjadi pada iklim tropis dengan intensitas pelapukan tinggi. Di dalam industri pertambangan nikel laterit atau proses yang diakibatkan oleh adanya proses lateritisasi sering disebut sebagai nikel sekunder.

Baja laterit adalah baja dengan kandungan nikel berkadar rendah yaitu antara 1 - 4,5 persen. Umumnya kadar nikel pada baja laterit yang coba dikembangkan oleh LIPI berkisar 1,5 - 4,5 persen. Jenis baja laterit yang dikembangkan dari bijih laterit ini adalah Ni - Hard, sejenis baja cor yang memiliki nilai kekerasan yang tinggi serta ketangguhan yang optimal. Bahan ini banyak digunakan untuk material *grinding balls* atau *Hard-Liner* untuk peralatan pemecah (*crusher*) atau penggerus (*grinder*). Baja laterit ini jika dikembangkan secara baik akan menjadikan kemandirian bangsa Indonesia dalam bidang industri baja, hal ini dikarenakan cadangan bijih nikel berkadar rendah ini berpuluh kali lebih banyak dibandingkan dengan bijih nikel berkadar tinggi. (Yusuf, 2002)

Proses perlakuan panas (Heat Treatment) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam. Adanya sifat alotropik dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari

berbagai jenis logam. Alotropik itu sendiri adalah merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain.

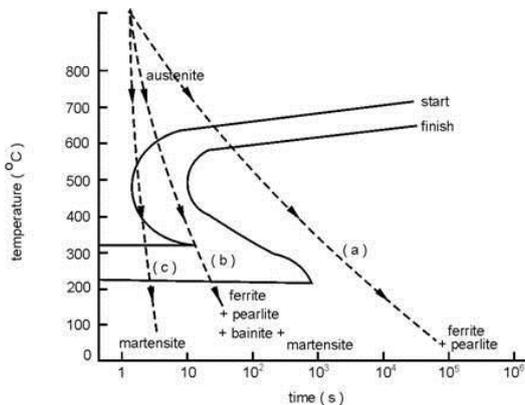
Diagram fasa adalah diagram yang menghubungkan antara temperatur dengan kadar karbon, dimana terjadi perubahan fasa pada saat proses pemanasan atau pendinginan. Diagram fasa Fe-C merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja, serta untuk mengetahui faktor - faktor apa saja yang terjadi di dalam baja paduan dengan berbagai jenis perlakuan. (Sutrisno, 2012)



Gambar 1. Diagram fasa Fe-C. (Callister, 2001)

Maksud utama dari proses perlakuan panas terhadap baja adalah agar diperoleh struktur yang diinginkan supaya cocok dengan penggunaan yang direncanakan. Struktur tersebut dapat diperkirakan dengan cara menerapkan proses perlakuan panas yang spesifik. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses transformasi dari kondisi sebelumnya (awal). Beberapa proses transformasi dapat dibaca melalui diagram fasa. Diagram fasa Fe-C dapat digunakan untuk memperkirakan beberapa kondisi transformasi tetapi untuk kondisi tidak setimbang tidak dapat menggunakan diagram fasa. Dengan demikian, untuk setiap kondisi transformasi lebih baik menggunakan diagram TTT (Time - Temperature - Transformation). Diagram ini menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperatur. Nama lain dari diagram ini adalah diagram S atau diagram C. Melalui diagram ini dapat dipelajari kelakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas. Diagram ini dapat juga digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik dari baja yang diquench (disepuh) dari temperatur austenitisasinya ke suatu temperatur dibawah A1. Pengaruh laju pendinginan pada transformasi austenit dapat diuraikan melalui penggunaan diagram TTT untuk jenis baja tertentu. Pada diagram ini sumbu tegak menyatakan temperatur sedangkan sumbu datar menyatakan waktu yang diplot dalam skala logaritmik. Diagram ini merupakan ringkasan dari beberapa jenis struktur mikro yang diperoleh dari rangkaian percobaan yang dilakukan pada spesimen yang kecil yang dipanaskan pada temperatur austenitisasinya, kemudian diquench pada temperatur tertentu dibawah titik eutektoid A1, untuk jangka waktu yang tertentu pula sampai seluruh austenit bertransformasi. Proses

transformasi dari austenit pada baja yang bersangkutan diamati dan dipelajari dengan menggunakan mikroskop.



**Gambar 2.** Diagram TTT (Time Temperature Transformation). (Callister, 2001)

Saat ini penggunaan mesin pendingin banyak digunakan dalam berbagai bidang salah satunya di perkantoran dan gedung-gedung. Penggunaan *air conditioning* sangat berdampak pada kenyamanan manusia dalam beraktivitas, salah satunya untuk mendinginkan ruangan dimana dalam suatu ruangan terdapat beban panas yang berlebihan dan menyebabkan udara semakin panas atau tidak nyaman. Pada gedung-gedung bertingkat proses pengkondisian udara yang digunakan umumnya dilakukan terpusat pada satu tempat yang disebut AC sentral (Aziz *et al.*, 2015). Mesin pengkondisian udara ini terdiri dari dua sistem, yaitu: 1. Unit chiller sebagai unit pendingin, 2. Unit AHU (air handling unit), penggunaan sistem *air conditioning* (AC) pada suatu bangunan gedung dimaksudkan untuk menciptakan kenyamanan bagi penghuni dan juga menunjang proses produksi pada suatu industri.

Keberadaan AC pada suatu bangunan gedung memegang peranan yang sangat vital karena 50% energi listriknya dikonsumsi oleh sistem AC (Rahman & Budiharjo, 2014). Sistem *air cooled chiller* ini adalah sistem yang biasa digunakan pada gedung-gedung dan perkantoran. Prinsip kerja sistem *air cooled chiller* pada dasarnya sama seperti sistem AC, hanya saja pada sistem *air cooled chiller* membutuhkan air sebagai refrigeran sekunder dalam proses pendinginannya. Air ini akan mengalami perubahan temperatur bila menyerap kalor dari ruangan yang dikondisikan (ASHRAE, 2008).

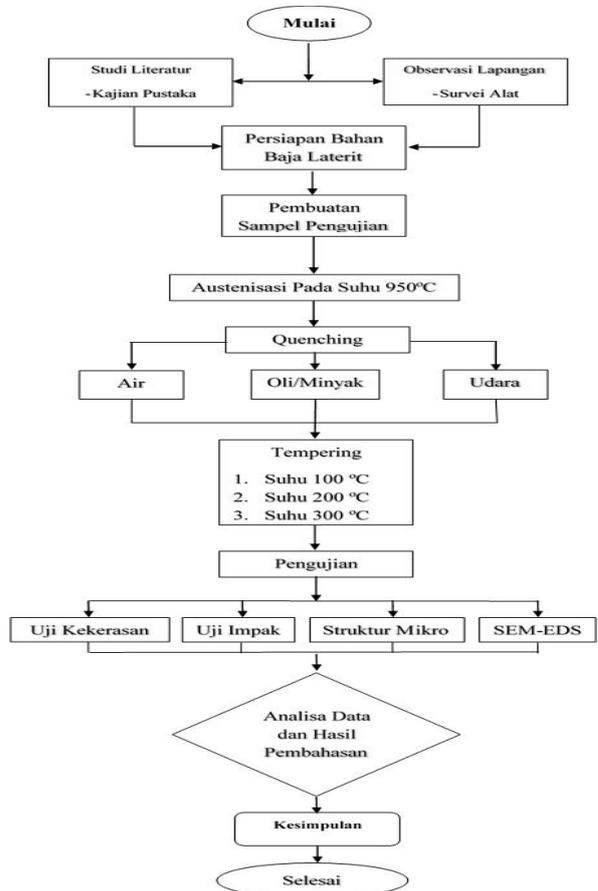
Beberapa peneliti banyak melakukan penelitian tentang bagaimana cara untuk meningkatkan performa dari sistem *Refrigeration Heating Ventilating and Air Conditioning* (RHVAC). Salah satu penelitian sebelumnya (Berman *et al.*, 2016) mengenai “Meningkatkan *Refrigerator* Domestik dengan *Injection Hot Gas* ke *Suction Line*” didapatkan hasil peningkatan nilai koefisien kinerja sistem (CoP) dan menurunkan nilai dari temperatur *discharge*, dari hasil tersebut memberikan implikasi terhadap daya listrik yang rendah serta kerja dari kompresor lebih ringan. Penggunaan *Hot Gas Bypass* dalam beberapa dekade ini telah diaplikasikan dalam sistem refrigerasi *direct expansion* untuk mengontrol beban pendingin dengan kapasistas rendah. Itu

memungkinkan dapat mengatasi berbagai masalah yang lebih spesifik dalam sistem *Heating Ventilating and Air Conditioning* (HVAC) (Solberg, 2003).

Berdasarkan kebijakan pemerintah RI yang mengeluarkan peraturan Menteri Perindustrian Nomor. 41/M-IND/PER/5/2014 tentang larangan penggunaan HCFC dibidang industri khususnya disektor *Air Conditioning* dan adanya penelitian terdahulu yang sebelumnya telah dilakukan tentang penggunaan *Hot Gas Bypass* pada sistem *Refrigeration Heating Ventilating and Air Conditioning* (RHVAC), maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh *Injection Hot Gas Bypass* Refrigeran Di Saluran *Suction* Terhadap Kinerja Sistem *Air Cooled Chiller* yang Menggunakan R404A”.

**2. METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam penelitian ini, uraian prosedur penelitian dapat digambarkan berupa diagram alir seperti gambar dibawah ini :



**Gambar 3.** Diagram alir penelitian.

**2.2 Bahan dan Alat**

Penelitian yang dilakukan di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI menggunakan beberapa bahan dan alat, baik dalam proses penempaan panas (*hot forging*) atau proses pengujian sampel uji.

**2.2.1 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Baja laterit dengan komposisi sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Komposisi kimia baja laterit.

Unsur	Persentase	Unsur	Persentase
C	0.2037%	V	0.0039%
Si	0.24%	W	0.01%
Mn	0.3088%	Pb	0.001%
P	0.01%	Sn	0.0004%
S	0.0075%	As	0.0021%
Cr	0.452%	Ca	0.0025%
Mo	0.001%	Ce	0.002%
Ni	1.564%	Se	0.005%
Al	0.0248%	Ta	0.0052%
Co	0.0014%	B	0.0005%
Cu	0.0083%	N	0.0075%
Nb	0.0032%	Fe	97.10%
Ti	0.0094%		

- Micropolish Alumina 0.3 micron
- Micropolish Alumina 1.0 micron
- Mikro Etsa Fe-C/Fe paduan
- Indentor intan
- Resin
- Amplas

**2.2.2 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

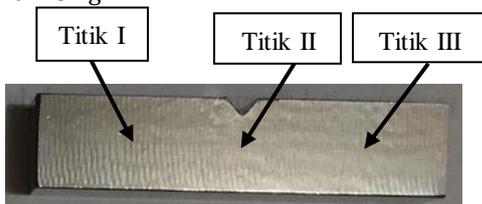
- Furnace listrik
- Termokopel
- Penjepit
- Mesin uji kekerasan
- Mesin uji impact
- Scanning Electron Microscope (SEM)
- Mesin polishing
- Mikroskop
- Cut off machine

**2.3 Prosedur Penelitian**

Dalam penelitian ini, terdapat tahapan – tahapan dalam proses pengambilan data yang terdiri dari austenisasi, quenching, tempering, uji kekerasan, uji impact, pengamatan struktur mikro, dan Scanning Electron Microscope (SEM).

**2.3.1 Proses-proses Pengujian**

Pada proses pengujian kekerasan, sampel uji hasil quenching dan tempering yang telah diukur dimensinya dan telah dibentuk untuk sampel uji impact dengan standar ukuran ASTM E 23. Proses pengujian kekerasan sampel uji dilakukan pada tiga titik setiap variasi sampel dengan menggunakan metode *Vickers* (VHN) dengan pembebanan 5 kgf.



**Gambar 4.** Titik pengujian kekerasan *Vickers* (VHN).

Proses uji impact dilakukan setelah proses uji kekerasan untuk mengetahui nilai impact dari setiap variasi sampel uji. Pengujian impact menggunakan metode charpy dengan energi yang terpasang pada pendulum sebesar 300 joule.

Sampel uji terdiri dari tiga buah sampel pada setiap variasi. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya kesalahan dalam proses uji impact.



**Gambar 5.** Mesin uji impact *charpy*.

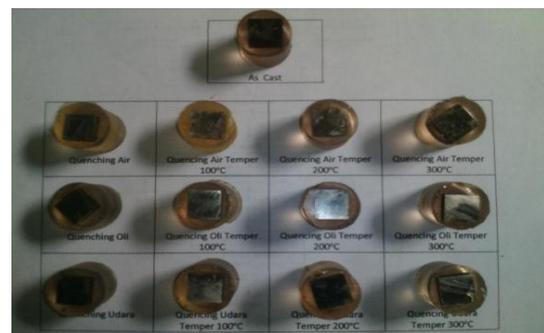


**Gambar 6.** Sampel uji impact *charpy*.

**2.3.2 Pengamatan Struktur Mikro**

Proses pengamatan struktur mikro pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

- Pembentukan sampel uji dengan dimensi 10mm × 10mm × 10mm.
- Penyalutan (*mounting*) menggunakan resin dan dicetak menggunakan cetakan berdiameter 250 mm.
- Pengampelasan menggunakan mesin amplas otomatis dengan tingkat kekasaran amplas 120, 400, 800, dan 1200.
- Pemolesan (*polishing*) menggunakan mesin poles otomatis. Pemolesan terdiri dari dua tahapan yaitu dengan menggunakan cairan *Micropolish Alumina 1.0 micron* dan *Micropolish Alumina 0.3 micron*.
- Pengetsaan dengan menggunakan cairan mikro etsa Fe-C/Fe paduan.
- Pengamatan dengan mikroskop optik pada variasi sampel uji.



**Gambar 7.** Sampel pengamatan struktur mikro.

**3.3.4 Scanning Electron Microscope (SEM)**

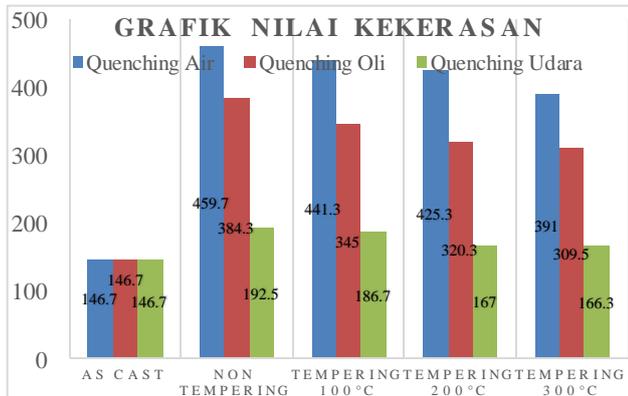
Hasil dari patahan pada proses uji impak *charpy* kemudian diamati menggunakan alat *scanning electron microscope* (SEM) untuk mengetahui ukuran butir dan bentuk patahan yang terdapat pada area patahan. Pengamatan ini dilakukan pada 1 titik di setiap variasi sampel.



**Gambar 8.** Sampel pengamatan *scanning electron microscope* (SEM)

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers atau HV (*Hardness Vickers*) dengan intan sebagai indenter dan menggunakan pembebanan sebesar 5 kgf. Dari hasil uji kekerasan, didapat hasil pengujian sebagai berikut :



**Gambar 9.** Grafik hasil kekerasan pengaruh proses quenching dan tempering

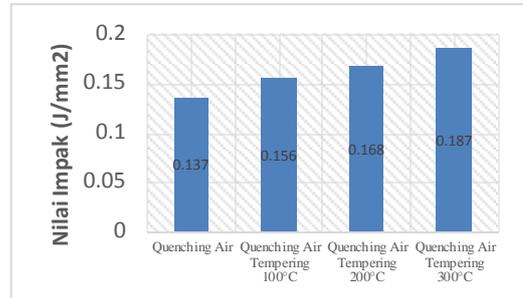
Dari grafik di atas, diketahui bahwa nilai kekerasan dari material *as cast* mengalami peningkatan setelah melalui tiga proses media quenching yaitu air, oli dan udara. Dan cenderung menurun setelah melalui proses tempering dengan suhu 100°C, 200°C dan 300°C. Dari media quenching air sebesar 459,7 HV, 441,3 HV, 425,3 HV dan 391 HV. Selanjutnya dari media quenching oli sebesar 384,3 HV, 345 HV, 320,3 HV dan 309,5 HV. Dan dari media quenching udara sebesar 192,5 HV, 187,5 HV, 167 HV dan 165,3 HV. Dengan nilai kekerasan material awal sebesar 146,7 HV.

**3.1. Nilai Impak pada Sampel Uji**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar energi yang dimiliki oleh sampel untuk menahan beban secara tiba-tiba, dengan kata lain untuk

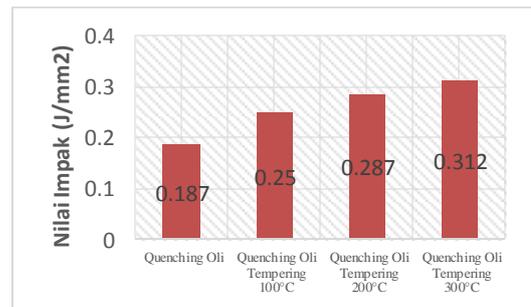
mengetahui kekuatan impak atau ketangguhan dari setiap sampel.

Dari hasil di atas, didapat grafik hubungan antara nilai impak dengan nilai kekerasan.



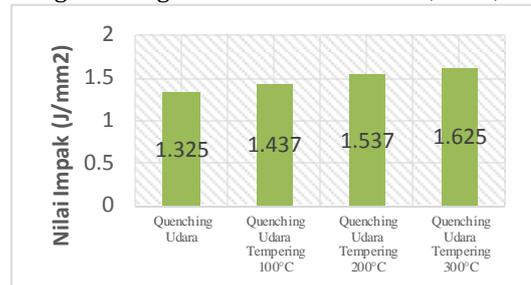
**Gambar 10.** Grafik nilai impak pengaruh proses quenching air dan tempering

Dari grafik diatas diketahui nilai impak dari proses quenching air dengan nilai kekerasan 459,7 HV, 441,3 HV, 425,3 HV dan 391 HV adalah 0,137 J/mm², 0,156 J/mm², 0,168 J/mm² dan 0,187 J/mm².



**Gambar 11.** Grafik nilai impak pengaruh proses quenching oli dan tempering

Dari grafik diatas diketahui nilai impak dari proses quenching oli dengan nilai kekerasan 384,3 HV, 345 HV,

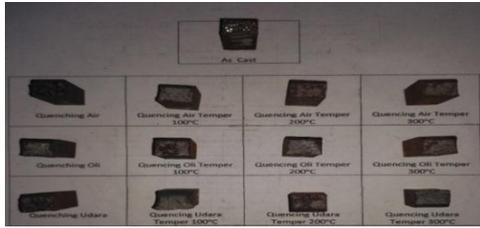


320,3 HV dan 309,5 HV adalah 0,187 J/mm², 0,25 J/mm², 0,287 J/mm² dan 0,312 J/mm².

**Gambar 12.** Grafik nilai impak pengaruh proses quenching udara dan tempering

Dari grafik diatas diketahui nilai impak dari proses quenching udara dengan nilai kekerasan 192,5 HV, 186,7 HV, 167 HV dan 166,3 HV adalah 1,325 J/mm², 1,437 J/mm², 1,537 J/mm² dan 1,625 J/mm². Maka dari itu dari ketiga grafik diatas dapat dijelaskan bahwa semakin kecil nilai kekerasan maka semakin tinggi nilai

impak yang didapat. Dan jenis patahan yang terbentuk dari sampel uji dampak keseluruhan adalah patahan getas (*brittle fracture*) dan ulet (*ductile fracture*) seperti pada gambar dibawah ini :

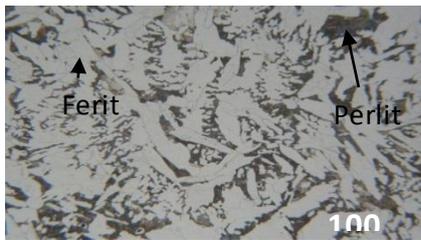


**Gambar 13.** Jenis patahan hasil uji dampak

**3.2 Pengamatan Struktur Mikro (Metalografi)**

Pada pengamatan struktur mikro (metalografi), dilakukan 2 kali perbesaran pada permukaan sampel yaitu, 100 kali dan 500 kali pada sampel yang telah di *mounting*.

**a. Struktur mikro sampel awal (As Cast)**



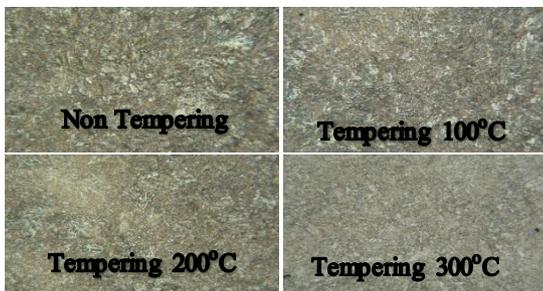
**Gambar 14.** Struktur mikro sampel *As Cast* dengan 100 kali perbesaran.



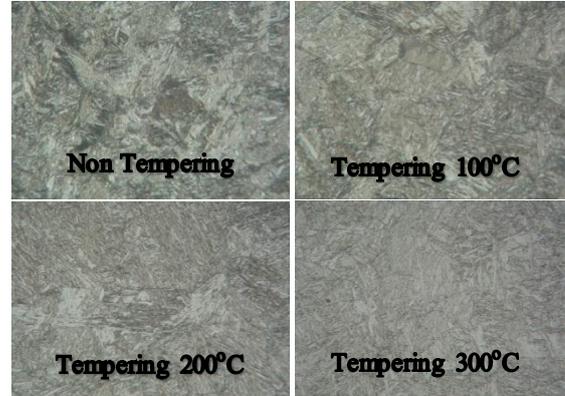
**Gambar 15.** Struktur mikro sampel *As Cast* dengan 500 kali perbesaran.

Pada gambar di atas, struktur yang terbentuk pada sampel *As Cast* dimana pada gambar struktur yang berwarna putih adalah struktur ferit dan yang berwarna kehitaman adalah struktur perlit. Kedua struktur ini terbentuk pada saat proses pengecoran, proses pendinginan dilakukan pada suhu kamar.

**b. Struktur mikro sampel quenching air**



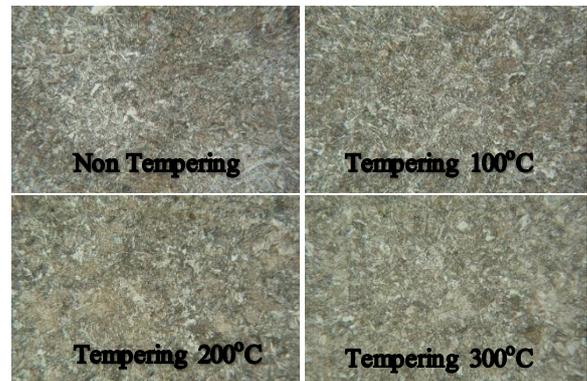
**Gambar 16.** Struktur mikro sampel *quenching* air 100 kali perbesaran.



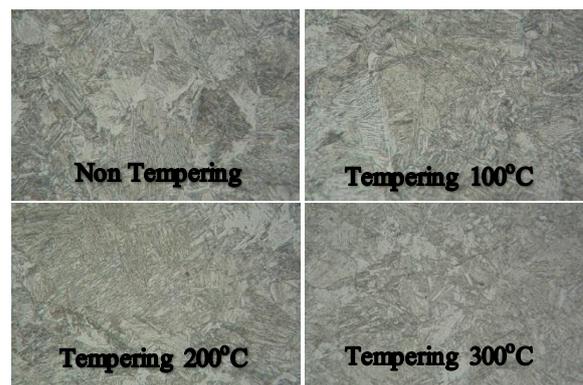
**Gambar 17.** Struktur mikro sampel *quenching* air 500 kali perbesaran.

Pada kedua gambar di atas, struktur yang terbentuk pada sampel *quenching* air adalah struktur martensit dan austenit sisa. Struktur martensit terbentuk karena proses pendinginan secara langsung dengan air setelah material dipanaskan hingga suhu 950°C dan mencapai fasa austenit. Tidak semua fasa austenit yang berasal dari proses austenisasi berubah menjadi martensit selalu ada austenit sisa.

**c. Struktur mikro sampel quenching oli**



**Gambar 18.** Struktur mikro sampel *quenching* oli 100 kali perbesaran.

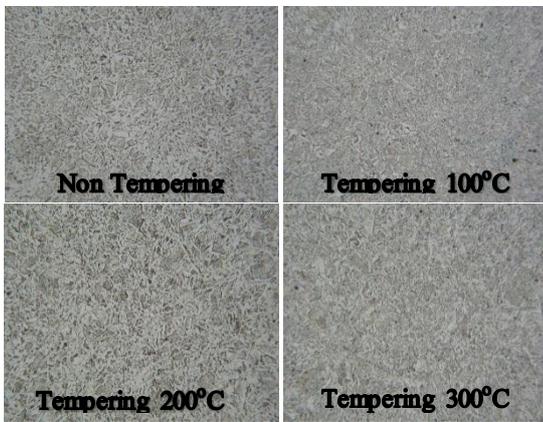


**Gambar 19.** Struktur mikro sampel *quenching* oli 500 kali perbesaran.

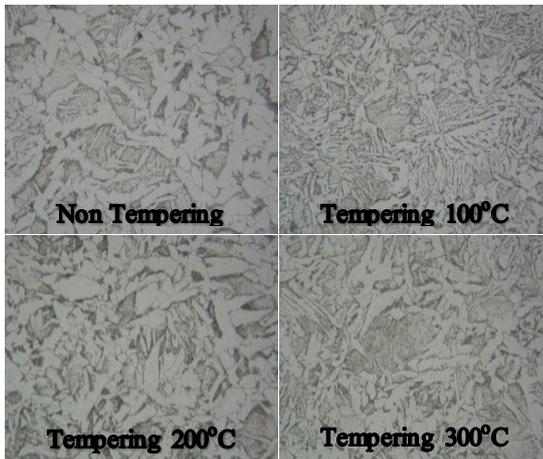
Pada kedua gambar di atas, struktur yang terbentuk pada sampel *quenching* oli adalah struktur bainit, sedikit martensit dan terdapat austenit sisa.

Struktur bainit terbentuk karena pada proses pendinginan dengan oli, terjadi penurunan temperatur lebih cepat dari pendinginan dengan suhu kamar tanpa proses pembentukan logam. Dimana fasa austenite bertransformasi menjadi bainit atas pada temperatur 350°C sampai 550°C.

**d. Struktur mikro sampel *quenching* udara**



**Gambar 20.** Struktur mikro sampel *quenching* udara 100 kali perbesaran



**Gambar 21.** Struktur mikro sampel *quenching* udara 500 kali perbesaran.

Pada kedua gambar di atas, struktur yang terbentuk dari sampel *quenching* udara adalah struktur ferit dan pearlite.

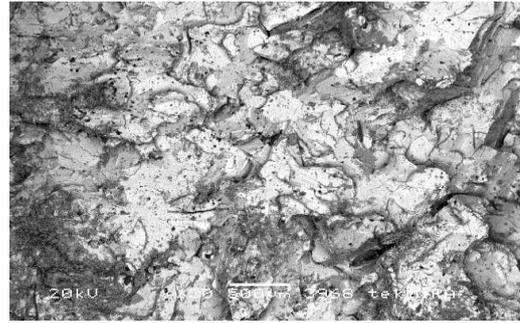
Struktur ferit dan pearlite terbentuk karena proses pendinginan dengan udara lebih lama dibandingkan dengan air dan oli. Fasa perit dan pearlite memiliki kekerasan lebih lunak tetapi lebih ulet, sesuai dengan hasil uji kekerasan dan uji dampak yang didapat.

Hasil uji kekerasan lebih lunak dan hasil uji dampak, nilai dampak lebih besar dibandingkan hasil dari proses pendinginan dengan menggunakan air dan oli.

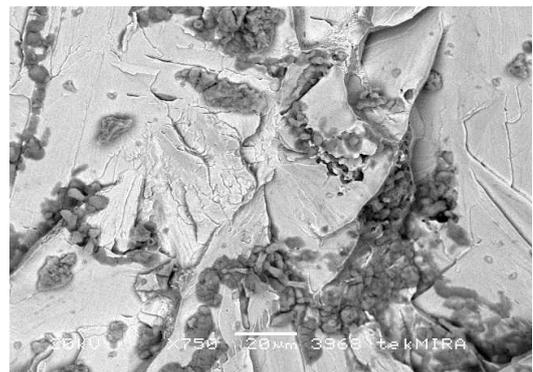
**3.3 Pengamatan Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM)**

Pengamatan menggunakan SEM dilakukan pada patahan hasil dari pengujian dampak *charpy*. Pengamatan hasil patahan dilakukan dengan perbesaran 30 kali dan 750 kali perbesaran pada 1 titik pengamatan.

**a. Struktur patahan sampel awal (*As Cast*)**



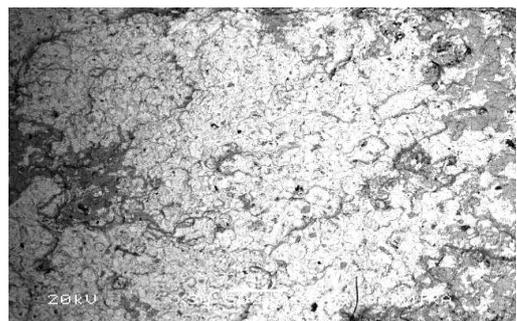
**Gambar 22.** Struktur patahan sampel *As Cast* dengan 30 kali perbesaran



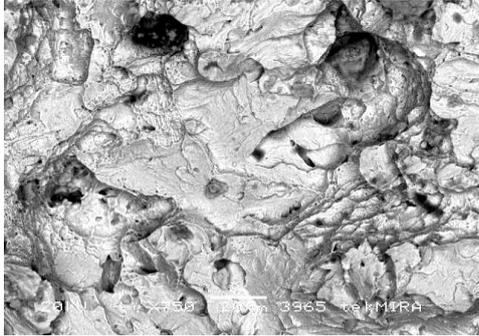
**Gambar 23.** Struktur patahan sampel *As Cast* dengan 750 kali perbesaran

Dari gambar di atas, hasil patahan pada sampel *As Cast* menunjukkan bahwa patahan terjadi pada batas butir dari struktur tersebut. Ukuran butir masih terlihat besar karena pada sampel ini tidak dilakukan proses *quenching* atau masih dalam hasil coran.

**b. Struktur patahan sampel media *quenching* air**



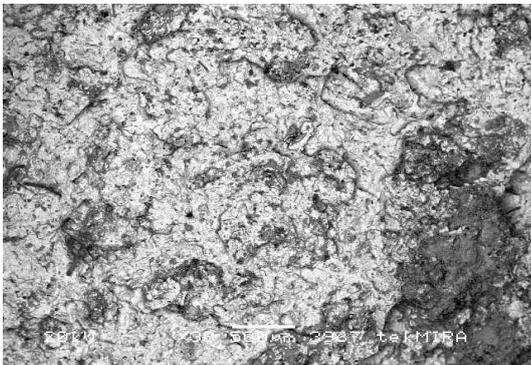
**Gambar 24.** Struktur patahan sampel media *quenching* air perbesaran 30 kali



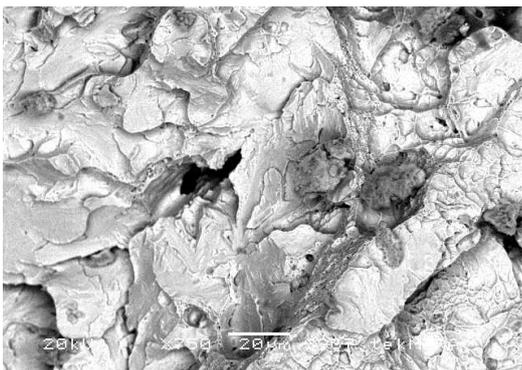
**Gambar 25.** Struktur patahan sampel *quenching* air dengan 750 kali perbesaran

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa hasil patahan pada sampel *Quenching* Air memiliki ukuran butir lebih kecil, padat dan halus dibandingkan sampel *As Cast*. Bentuk patahan yang dihasilkan cenderung memiliki permukaan patah yang rata atau patah getas. Hal ini terjadi karena material mengalami pendinginan cepat dengan menggunakan media air dibandingkan pendinginan dalam suhu kamar. Pendinginan dengan menggunakan media *quenching* air menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi pada material namun menurunkan tingkat keuletan, sehingga terjadi patahan getas.

**c. Struktur patahan sampel media *quenching* oli**



**Gambar 26.** Struktur patahan sampel media *quenching* oli perbesaran 30 kali



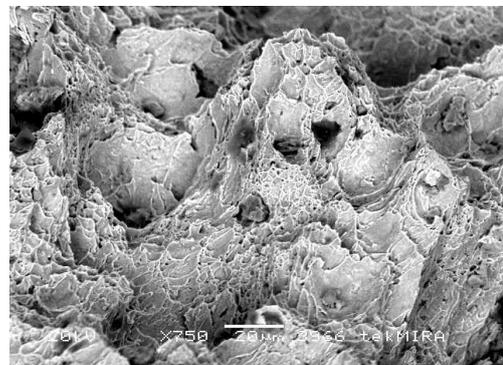
**Gambar 27.** Struktur patahan sampel media *quenching* oli perbesaran 750 kali

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa hasil patahan pada sampel *Quenching* Oli memiliki ukuran butir lebih kecil, padat dan halus dibandingkan sampel *As Cast*. Struktur yang padat dan halus ini meningkatkan nilai kekerasan dari material. Bentuk patahan yang dihasilkan cenderung memiliki permukaan patah yang rata atau patah getas. Hal ini terjadi karena material mengalami pendinginan cepat dengan menggunakan media oli dibandingkan pendinginan dalam suhu kamar.

**d. Struktur patahan sampel media *quenching* udara**



**Gambar 28.** Struktur patahan sampel media *quenching* udara perbesaran 30 kali



**Gambar 29.** Struktur patahan sampel media *quenching* udara perbesaran 750 kali

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa hasil patahan pada sampel *Quenching* Udara memiliki patahan yang tidak rata atau patahan ulet dibandingkan dengan dua media *quenching* lainnya yaitu air dan oli. Hal ini karena pendinginan menggunakan udara memiliki kecepatan pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air dan oli. Nilai kekerasan yang dihasilkan akan lebih rendah tetapi tingkat keuletan akan lebih tinggi maka akan terbentuk struktur patahan yang ulet (*ductile*).

**4. KESIMPULAN**

Penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja karbon rendah dengan paduan laterit. Perlakuan panas *quenching* dengan media air, oli dan udara dapat meningkatkan kekerasan yang tinggi dan dilakukan perlakuan panas *tempering* untuk memperbaiki sifat material menjadi lebih ulet dengan menurunkan sedikit nilai kekerasan. Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan dan pembahasan pada proses *quenching* dan *tempering* pada baja karbon rendah laterit terhadap sifat mekanik (kekerasan dan ketangguhan) dan struktur mikro, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari pengujian kekerasan pada baja karbon laterit hasil proses *quenching* dan tempering diperoleh nilai kekerasan tertinggi pada sampel dengan media *quenching* air dibandingkan dengan media *quenching* oli dan udara. Hal tersebut terjadi karena media *quenching* air memiliki kekentalan yang lebih rendah dibandingkan media *quenching* oli dan massa jenis lebih besar dibandingkan dengan media *quenching* udara. Sehingga waktu proses pendinginan lebih cepat dibandingkan media *quenching* oli dan udara, dengan nilai kekerasan sebesar 459,7 HV, 441,3 HV, 425,3 HV dan 391 HV.
2. Dari pengujian ketangguhan baja laterit diperoleh nilai ketangguhan tertinggi pada sampel dengan media *quenching* udara dibandingkan dengan media *quenching* air dan oli. Hal tersebut terjadi karena media *quenching* udara memiliki massa jenis lebih rendah dibandingkan dengan media *quenching* air dan oli sehingga waktu proses pendinginan lebih lambat, dengan nilai ketangguhan 1,325 J/mm<sup>2</sup>, 1,437 J/mm<sup>2</sup>, 1,537 J/mm<sup>2</sup> dan 1,625 J/mm<sup>2</sup>.
3. Dari data hasil pengujian pengaruh proses tempering terhadap nilai kekerasan dan nilai ketangguhan adalah semakin tinggi temperature tempering maka semakin rendah nilai kekerasan yang didapat dan semakin tinggi nilai ketangguhan.
4. Dari hasil pengamatan struktur mikro pada media *quenching* air terbentuk fasa martensit dan austenite sisa karena waktu pendinginan yang sangat cepat, kemudian pada media *quenching* oli terbentuk fasa sedikit martensit, bainit dan austenite sisa, karena waktu pendinginan lebih lambat dibandingkan media *quenching* air. Sedangkan pada media *quenching* udara fasa yang terbentuk adalah ferit dan pearlite karena waktu pendinginan yang sangat lambat dibandingkan media *quenching* air dan oli.
5. Dari hasil pengamatan uji SEM untuk bentuk patahan impak diperoleh patahan getas dan ulet. Pada sampel *as cast* diperoleh jenis patahan getas dan ukuran butir yang terlihat masih besar. Sedangkan pada sampel yang telah

dilakukan proses *quenching* dan *tempering* diperoleh patahan getas pada sampel media *quenching* air dan oli dan patahan ulet diperoleh pada sampel media *quenching* udara yang memiliki nilai ketangguhan lebih besar.

Pengaplikasian *injection hot gas bypass* pada sistem *air cooled chiller* dengan menggunakan refrigeran R404A berpengaruh pada kerja kompresi yang rendah akibat rasio tekanan *discharge* dan *suction* lebih kecil. Secara umum pada sistem *air cooled chiller* dengan penggunaan refrigeran R404A dengan menggunakan sistem *injection hotgas bypass* menunjukkan hasil CoP yang lebih baik dibandingkan dengan sistem normal.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E23.1982 Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. American Society of Testing and Materials
- ASM Handbook. 2004. Metallography and Microstructures. ASM International.
- ASM Handbook. 1993. Worldwide Guide To Equivalent Irons And Steels. ASM International
- Amstead, B. H. 1993. Teknologi Mekanik. Terjemahan Sriati Djaprie. Jilid I edisi 7. Jakarta : Erlangga
- Bohler. 1997. Bohler High Grade Steels
- B.J.M Beumer 1994. Ilmu Bahan Logam Jilid 1 Penerbit Bhartara - Jakarta
- Callister D. William, Jr. 2001 Fundamentals of Materials Science and Engineering 5th edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Dieter, E., George. 1990. Metalurgi Mekanik Edisi 3 Jilid 1. Jakarta. Erlangga
- Dieter, George E, 1986. Teknik Metalurgi Mekanik published : Gadjah Mada University Press 1986.
- Ing.Alois Schonmetz. Karl Gruber. 2013 Pengetahuan Bahan dalam pengerjaan logam.
- Hafner, B., 2007., Characterization Facility, Universitas Minnesota
- Smallman, R.E. 1985. Modern Physical Metallurgy, fourth edition.
- Yusuf. 2002. Strategi Pengembangan Sumberdaya Nikel -Besi Laterit Indonesia. Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI.