

# PENGEMBANGAN MATERIAL

## AISI 4340 SEBAGAI BAHAN DASAR *LINK TRACK*

### MELALUI PROSES PERLAKUAN PANAS

Beny Bandanadjaja<sup>(1)</sup>, Ari Siswanto<sup>(1)</sup>

Helmi Eka Putra<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Polman Bandung

<sup>(2)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur, Konsentrasi Teknologi Foundry, Polman Bandung

#### ABSTRAK

Industri alat berat terus berkembang seiring dengan perkembangan dunia usaha sehingga banyaknya perusahaan menggunakan *excavator* dalam kegiatan kerja. *Excavator* merupakan salah satu alat berat yang digunakan untuk memindahkan material dari satu tempat ke tempat yang lain. Salah satu bagian dari *Excavator* ialah *Bucket Wheel Excavator (BWE)*, dan *Link Track* merupakan bagian pada unit *Bucket Wheel Excavator*. Tuntutan terhadap *Link Track* tersebut yakni memiliki kekuatan yang baik, ulet, dan tangguh, karena beragam gaya yang akan diterima pada saat diaplikasikan secara rutin di lapangan, seperti gaya tekan, gaya tarik dan gaya gesek. AISI 4340 sebagai material pembuatan produk *link track*, memiliki kekuatan tarik dan tegangan luluh yang tinggi, namun awalnya memiliki keuletan dan ketangguhan yang rendah. Terdapat upaya yang dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik dari material tersebut salah satunya adalah dengan memberikan metode perlakuan panas, *Dual Phase (DP) Steel*. Metode *Dual Phase Steels* memiliki keunggulan dalam meningkatkan nilai kekuatan dan keuletan. Hal itu dikarenakan kombinasi dua struktur mikro yang terbentuk yaitu martensit/bainit yang memiliki nilai kekuatan tarik yang tinggi dengan matriks lunak ferrit yang memiliki nilai keuletan tinggi. Perlakuan panas yang dilakukan untuk menghasilkan DP adalah *Normalizing*, *Austenizing*, *Intercritical Annealing*, dan *Austempering*. Pada penelitian ini diberikan parameter bebas berupa temperatur penahanan *Austempering* (60 menit) 300, 350 dan 400. Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan struktur bainit paling baik yang dapat menghasilkan ketangguhan paling tinggi. Adapun hasil penelitian yang didapatkan dari pengujian kekerasan, tarik dan dampak menunjukkan adanya peningkatan seiring menurunnya temperatur penahanan *austempering*, ketangguhan pada material pun naik seiring dengan menurunnya temperatur penahanan *austempering*. Adapun, hasil yang memiliki nilai ketangguhan tertinggi ialah pada temperatur penahanan *austempering* 300°C dengan nilai  $147 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ . Nilai ketangguhan penelitian ini lebih tinggi dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Aryani Dewi Maulida dan Harish Cahya Pratama yang berturut-turut mendapatkan nilai ketangguhan sebesar  $145 \times 10^6 \text{ J/m}^3$  dan  $102 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ .

**Kata Kunci** AISI 4340, *Dual Phase Steel*

#### 1. PENDAHULUAN

Industri alat berat terus berkembang seiring dengan perkembangan dunia usaha sehingga banyaknya perusahaan menggunakan *excavator* dalam kegiatan kerja. *Excavator* merupakan salah satu alat berat yang digunakan untuk memindahkan material dari satu tempat ke tempat yang lain. Di dunia pertambangan, *excavator* berfungsi sebagai alat bantu dalam melakukan kegiatan produksi. Salah satu bagian dari *Excavator* ialah *Bucket Wheel Excavator (BWE)*, dan *Link Track* merupakan bagian pada unit *Bucket Wheel Excavator*. Tuntutan terhadap *Link Track* tersebut yakni memiliki kekuatan yang baik, ulet, dan tangguh, karena beragam gaya yang akan diterima pada saat diaplikasikan secara rutin di lapangan,

seperti gaya tekan, gaya tarik dan gaya gesek. Hal tersebut menjadi dasar penelitian ini untuk menghasilkan material yang tangguh.

Material *link track* asli menggunakan material jenis *austenitic manganese steel* dengan standar material ASTM A 128 [1]. *Austenitic manganese steel* memiliki struktur mikro *austenit*. Struktur mikro ini memiliki sifat lunak dan tidak bisa dikeraskan lagi melalui proses perlakuan panas. Struktur *austenit* cocok untuk beban dengan dampak tinggi dan abrasif dimana struktur akan berubah menjadi *martensit* akibat beban dampak. Namun dalam aplikasinya *link track* tidak mengalami beban dampak yang tinggi [1]. *Link track* mengalami beban tekan dan tarik. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap beban tekan

dan tarik maka material tidak boleh terlalu lunak. Untuk itu perlu dirancang material yang memiliki kemampuan dikeraskan. Namun juga memiliki kekuatan yang tinggi dan elongasi yang cukup. Material yang dipilih ialah material AISI 4340 karena kekuatannya tinggi dan elongasinya yang dapat ditingkatkan.

Material AISI 4340, merupakan material yang telah banyak diaplikasikan pada berbagai macam produk salah satunya karena nilai kekuatan tarik dan tegangan luluhnya yang sangat tinggi. Di sisi lain, material ini memiliki nilai keuletan dan ketangguhan yang rendah[2]. Terdapat banyak upaya yang kemudian dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik material AISI 4340 tersebut, diantaranya ialah dengan memodifikasi komposisi dan juga memberikan beberapa metode proses perlakuan panas.

Salah satu penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik dari material dengan standar AISI 4340 adalah dengan metode perlakuan panas baja fasa ganda (*Dual Phase Steels*). Hal itu dikarenakan oleh kombinasi dua struktur mikro yang terbentuk yaitu matriks keras seperti martensit/bainit yang memiliki nilai kekuatan tarik tinggi dengan matriks lunak ferrit yang memiliki nilai keuletan tinggi, meskipun pada proses DP tidak menutup kemungkinan akan terbentuknya fasa lain seperti pearlit atau austenit sisa[2].

Beberapa penelitian terhadap metode baja fasa ganda (*Dual Phase Steels*) menunjukkan bahwa struktur mikro yang mampu meningkatkan nilai kekuatan dan ketangguhan pada AISI 4340 yaitu *tempered martensite* [3], *lower bainite* yang lebih ulet daripada *tempered martensite* [4], dan *ferrite* yang lebih ulet dari *lower bainite* [5]. Sehingga kombinasi struktur mikro terbaik yang memberikan nilai kekuatan dan ketangguhan adalah *Dual Phase Bainite-Ferrite* (DPBF) [5]. Hal itu didukung penelitian oleh Saedi dan A. Ekrami yang menyatakan bahwa *Dual Phase Bainite-Ferrite* (DPBF) lebih baik dari *Dual Phase Martensite-Ferrite* (DPMF) [6].

Adapun hasil penelitian oleh Harish Cahya Pratama Metode perlakuan panas *dual phase steel* dengan *Normalizing* (860°C) 2 jam - *Austenizing* (860°C) 2 jam - *Intercritical Annealing* (680°C) 90 menit - *Austempering* (400°C) 2 jam, dengan Menghasilkan nilai *yield strength* 422.05 MPa, *tensile strength* 705.52 MPa, dan elongasi 16.86 % dengan struktur mikro akhir yang terbentuk yaitu 40% bainit, 50.7 % ferrit, dan 9.3% karbida[7].

Kemudian penelitian oleh Aryani Dewi Maulida. Metode perlakuan panas *dual phase steel* dengan *Normalizing* (900°C) 2 jam - *Austenizing* (870°C) 2 jam - *Intercritical Annealing* (670°C) 90 menit - *Austempering* (350°C) 1 jam, dengan

menghasilkan nilai *yield strength* 498.25 MPa, *tensile strength* 839 MPa, dan elongasi 20,04 % dengan struktur mikro akhir yang terbentuk yaitu 48% bainit, 40 % ferrit, dan 12% karbida[8].

Adapun hasil penelitian dari Bachtiar [9] dengan material yg sama dan metode *Dual Phase* sebagai berikut : *Austenizing* (850°C) 60 menit - *Intercritical Annealing* (700°C) 90 menit - *Austempering* (60 menit ) didapatkan nilai kuat luluh 1100 Mpa, kekuatan tarik 1400 Mpa, dan regangan 20%.

Bachtiar (2009) menemukan pada *Dual Phase kekuatan* akan menurun seiring dengan meningkatnya temperatur penahanan *austempering*. Hal itu disebabkan karena perubahan morfologi dari bainit bawah menuju bainit atas. Terdapatnya perbedaan nilai yang cukup signifikan dari penelitian yang dilakukan oleh Harish Cahya Pratama, Aryani Dewi Maulida dan Bachtiar menjadi perhatian dalam melakukan penelitian ini, untuk mendapatkan material baja fasa ganda dengan struktur mikro dengan variasi pada bainit dan ferrit, maka temperatur *austempering* divariasikan pada 300-400°C. Dengan variasi pada temperatur *austempering* diharapkan didapatkannya struktur bainit yang akan meningkatkan kekuatan dan keuletan yang lebih tinggi dapat dicapai, sehingga menghasilkan nilai ketangguhan yang lebih baik.

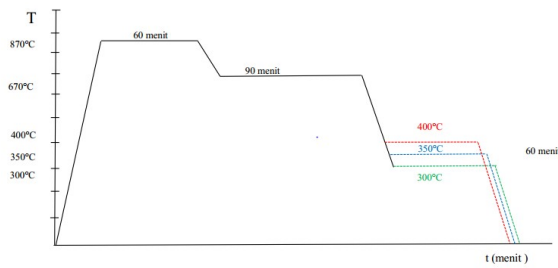
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah penelitian dilakukan dengan membuat baja AISI 4340. Hasil komposisi diuji dengan menggunakan OES (*optical emission spectroscopy*) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Komposisi AISI 4340.

Komposisi	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
SAE 4340	0.38- 0.43	0.20- 0.35	0.6- 0.8	1.6- 2.00	0.7- 0.9	0.2- 0.3

AISI 4340 dibuat dalam bentuk *Y block* standar ASTM E8. *Y block* dipotong dalam bentuk kotak (13x13x58) mm untuk uji impak dan metalografi serta uji kekerasan sesuai standar ASTM E 18 dan E 92, silinder untuk uji tarik dengan acuan standar ASTM A 370. Jumlahnya sesuai dengan variasi yang diperlukan.



Gambar 1. Skema Proses perlakuan panas yang dilakukan.

Seluruh material dilakukan proses perlakuan panas normalizing[] pada temperatur 900°C ditahan selama 2 jam, pendinginan udara bebas dan dilanjutkan dengan austenisasi 60 menit pertama pada temperatur 870°C. Dilanjutkan intercritical annealing pada temperatur 670°C selama 90 menit, dan diakhiri dengan Parameter yang divariasikan pada temperatur penahanan *austempering* yaitu 300, 350 dan 400°C menit.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

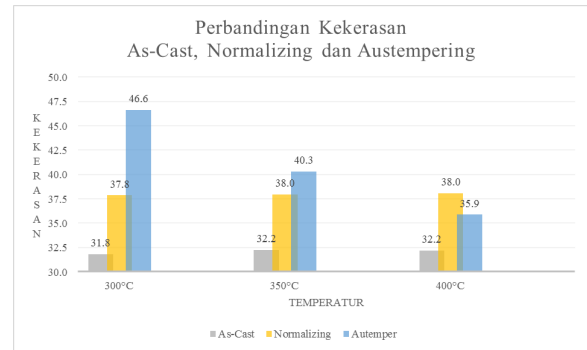
#### 3.1 Pengujian Komposisi

Tabel 2. Hasil Pengujian Komposisi

Komposisi	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
SAE 4340	0.38-0.43	0.20-0.35	0.6-0.8	1.6-2.00	0.7-0.9	0.2-0.3
Aktual	0.42	0.34	1.1	1.76	0.76	0.25

Dari data hasil pengujian komposisi yang telah dilakukan, diketahui bahwa kadar mangan (Mn) lebih dari standar. Dengan kurang dan berlebihnya kadar unsur tersebut, akan mempengaruhi titik-titik kritis seperti  $A_{c1}$  dan  $A_{c3}$ , mempengaruhi juga diagram CCT & TTT. Selain itu, merujuk pada teori unsur Mn ini dapat membuka / memperluas area temperatur transformasi austenit, dengan cara memperkecil area transformasi  $\alpha$  (alfa-ferrit). Mengecilnya daerah transformasi ferrit sangat berpengaruh, hal ini dapat menyebabkan berkurangnya struktur mikro ferrit yang terbentuk atau bahkan menyebabkan struktur ferrit tidak terbentuk.

#### 3.2 Pengujian Kekerasan

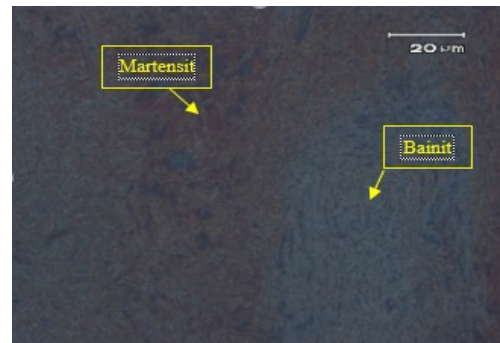


Gambar 2. Hasil pengujian kekerasan metode *rockwell*

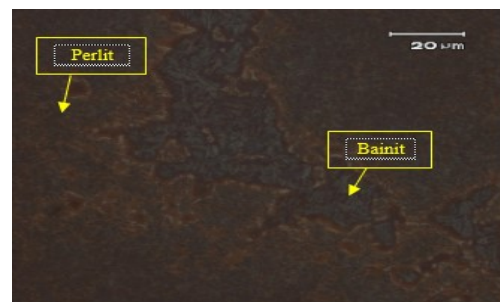
Berdasarkan data kekerasan dari *as cast* sampai setelah *normalizing*, terjadi peningkatan kekerasan. Hal ini disebabkan oleh ukuran butiran yang kecil, halus, dan seragam. Selain itu Hasil dari variasi *austempering* menunjukkan terjadinya peningkatan kekerasan seiring dengan menurunnya temperatur *austempering*. Hal disebabkan adanya variasi struktur bainit yang tertransformasi ketika proses *austempering* berlangsung. Semakin rendah temperatur *austempering* mendekati garis  $M_s$  struktur Bainit yang terbentuk adalah bainit bawah namun jika semakin mendekati garis  $B_s$  struktur yang terbentuk berupa bainit atas.

#### 3.3 Pengujian Metalografi

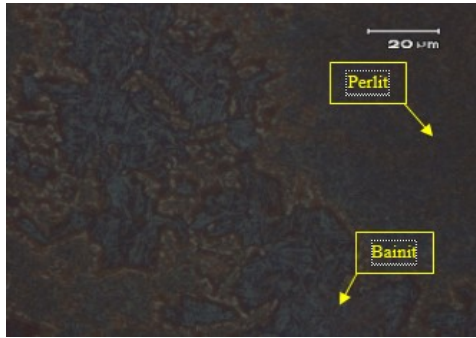
##### a) Austempering 300°C



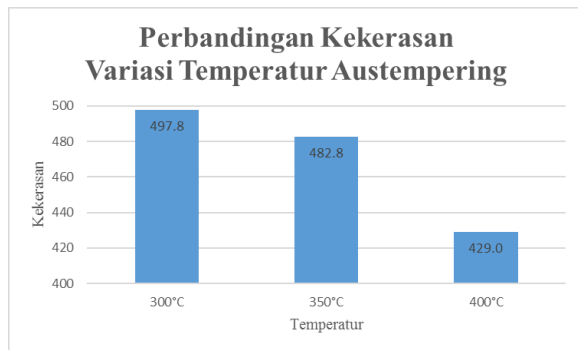
##### b) Austempering 350°C



c) Austempering 400°C



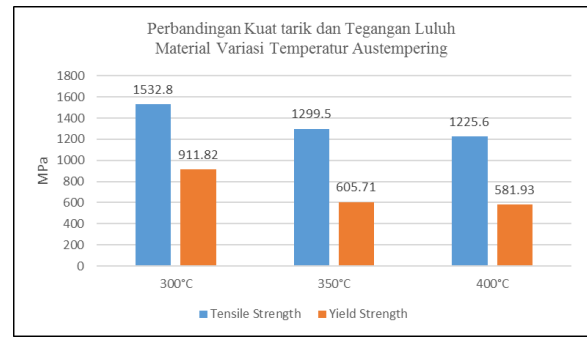
Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan variasi struktur mikro yang terbentuk, seiring dengan meningkatnya temperatur penahanan austempering. Pada bainit hal ini ditunjukkan dengan terbentuknya pulau bainit yang semakin besar seiring meningkatnya temperatur. Selain itu hasil pengujian dengan metode micro vickers menunjukkan adanya penurunan kekerasan bainit seiring meningkatnya temperatur penahanan austempering. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Bachtiar yang menemukan pada *Dual Phase* kekerasan akan menurun seiring dengan perubahan transformasi bainit bawah dan bainit atas dan meningkatnya temperatur penahanan austempering [8].



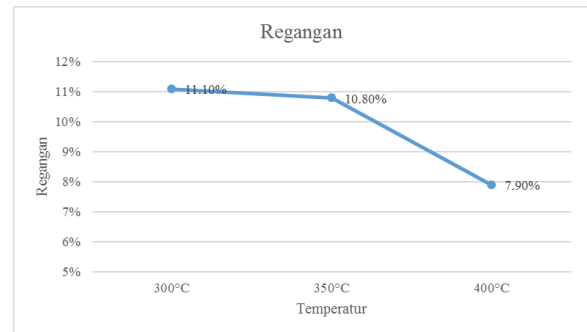
Gambar 2. Hasil pengujian kekerasan mikro vickers

### 3.4 Pengujian Tarik

Sesuai dengan pola data hasil pengujian kekerasan yang menunjukkan peningkatan kekerasan seiring menurunnya penahan temperatur *austempering* Peningkatan juga terjadi pada kuat tarik dari material. Hal tersebut karena kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan material. Berikut hasil pengujian tarik yang dilakukan terhadap material.

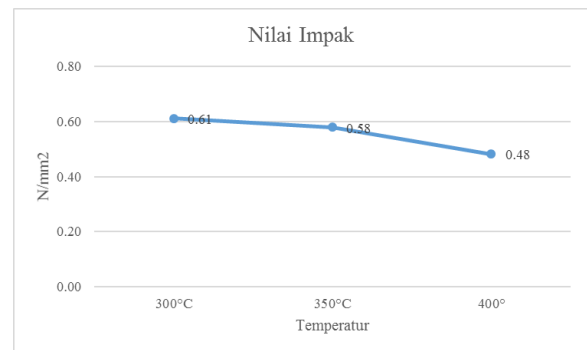


Gambar 4. Hasil kuat tarik dan tegangan luluh material variasi temperatur austempering



Gambar 5. Hasil regangan material variasi temperatur austempering

### 3.5 Pengujian Impak



Gambar 6. Hasil nilai impak material variasi temperatur austempering

Dengan naiknya kekuatan tarik dan regangan dan *modulus of toughness*, nilai impak pun ikut naik. Hal ini disebabkan oleh hubungan antara pengujian tarik dan pengujian impak dengan ketangguhan. Ketangguhan yang disebabkan oleh beban statis dapat dipastikan dengan hasil uji tarik.

#### 4. KESIMPULAN

1. Temperatur penahanan austempering berpengaruh terhadap struktur mikro dan kekuatan material. Semakin rendah temperatur penahanan austempering, struktur bainit yang terbentuk merupakan bainit bawah hal ini ditandai dengan semakin halusny struktur bainit yang ditandai dengan mengecilnya pulau pulau bainit dan meningkatnya kekerasan dari struktur bainit.

Variasi Heatreatment	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elongation	Hardness of Material (HRC)	Impact Energy (N/mm <sup>2</sup> )	Modulus of Toughness J/m <sup>3</sup>
Austem 300°C	1532.8	911.82	11.10%	46.6	0.61	147x10 <sup>6</sup>
Austem 350° C	1299.5	605.71	10.80%	40.3	0.58	115x10 <sup>6</sup>
Austem 400° C	1225.6	581.93	7.90%	35.9	0.48	79x10 <sup>6</sup>

2. Variasi bainit yang terbentuk menyebabkan kekuatan dari material bervariasi, seiring dengan menurunnya temperatur penahanan austempering kekerasan, kekuatan tarik dan juga nilai impak dari benda meningkat.
3. Dari hasil penelitian metode perlakuan panas yang memiliki nilai ketangguhan tertinggi yaitu, Normalizing (900°C) 2 jam - Austenizing (870°C) 1jam – Intercritical Annealing (670°C) 90 menit – Austempering (300°C) 1 jam, dengan menghasilkan nilai kekerasan 46.6 HRC, dengan kuat tarik 1532.8 MPa, kuat luluh 911.82 MPa, regangan 11.10 %, nilai impak 0.61 N/mm<sup>2</sup> dan nilai modulus of toughness sebesar 147x10<sup>6</sup> J/m<sup>3</sup>.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bananadjaja, Benny, Achyarsyah, M. “Perancangan Material Baja Cor Link Track Untuk Bucket Wheel Excavator Batubara”. Politeknik Manufaktur Negeri Bandung. Bandung. 2015.
- [2] ASM Handbook Committee, *ASM Handbook Volume I “Properties and Selection : Irons, Steels and High Performance Alloys”* (USA: ASM Internasional, 1990) (hlm. 708).
- [3] J.M. Tartaglia, K.A. Lazzari, G.P. Hui, K.L. Hayrynen, *Metallurgical and Materials Transactions A* 39A (2008) 559.
- [4] M.R. Akbarpour, A. Ekrami, *Materials Science and Engineering A* 477 (1–2)(2008) 306–310.
- [5] Saedi, Navid, A. Ekrami “Impact properties of tempered bainite-ferrite Dual Phase Steels” *Materials Science and Engineering A* 527, iran, 2010.
- [6] Saedi, Navid, A. Ekrami. “Comparison of mechanical properties of martensite-ferrite and bainite-ferrite dual phase 4340 steels” *Materials Science and Engineering*, iran, 2009.
- [7] Pratama, Harish C. “Pengaruh Waktu Penahanan Intercritical Annealing pada pembentukan fasa ganda ferrit-bainit material AISI 4340”. Politeknik Manufaktur Negeri Bandung. Bandung. 2016.

[8] Maulida, Aryani Dewi. “Analisis ketangguhan material baja CrNiMo melalui pembentukan fasa ganda ferrit-bainit”. Politeknik Manufaktur Negeri Bandung. Bandung. 2017.

[9] Bachtiar, R., & Ekrami, A. “The effect of bainite morphology on the mechanical properties of a high bainite dual phase (HBDP) steel”. *Materials Science and Engineering A* (2009) 525, 159-165.