

PENGEMBANGAN MATERIAL BAINITIC CAST STEEL UNTUK KOMPONEN TAPAK RANTAI (TRACK LINK) KENDARAAN TEMPUR TANK SUBSTITUSI IMPOR

DEVELOPMENT OF BAINITIC CAST STEEL FOR TRACKLINK OF ARMY TANK AS IMPORT SUBSTITUTION

Sri Bimo Pratomo¹, Hafid¹, Eva Afrilinda¹

¹Balai Besar Logam Dan Mesin

E-mail: bimo_bblm@yahoo.com

Diajukan: 27/5/2013, Direvisi: 31/7/2013, Disetujui: 6/12/2013

ABSTRACT

Track link of army tank is the component for stepping and moving, thus requiring wear resistance properties but remain ductile. The purpose of the research and development of making the track link prototype is increasing the independence of the national security and defense as well as decreasing the dependence on import. This research is applied research, which begins with the material testing and analysis of the imported track link as a reference for the development of material. It obtained the track link prototype with properties that is superior compare to imported product. Compacted vermicular bainite microstructure obtained results the addition of the manganese (Mn) and molybdenum (Mo) into the SCCrM3 low alloy steel and application the normalizing heat treatment using cooling fan. It was produced track link prototype component with hardness of 31 HRC (imported product: 28 HRC), and tensile strength of 96Kgf/mm² (JIS Standard: 89.7 Kgf/mm²), which all exceeds the value of the required mechanical properties.

Keywords: track link, compacted vermicular bainite, manganese, molybdenum

ABSTRAK

Tapak rantai kendaraan tempur tank adalah komponen untuk menapak dan bergerak sehingga mensyaratkan sifat tahan aus tetapi tetap ulet. Tujuan dari penelitian dan pengembangan tentang pembuatan prototipe komponen tapak rantai ini adalah sebagai upaya untuk meningkatkan kemandirian pertahanan keamanan nasional sekaligus menurunkan ketergantungan impor. Penelitian ini adalah penelitian terapan, yang diawali dengan pengujian dan analisa material dari tapak rantai impor sebagai acuan untuk pengembangan material. Telah diperoleh prototipe tapak rantai dengan sifat yang lebih unggul dari produk impor. Struktur mikro *compacted vermicular bainite* yang diperoleh dari hasil penambahan unsur mangan (Mn) dan molibden (Mo) baja paduan rendah SCCrM3, serta menggunakan perlakuan panas "normalisasi" yang memakai pendinginan kipas. Telah diperoleh komponen prototipe tapak rantai dengan sifat mekanis yang melebihi nilai yang dipersyaratkan, yaitu kekerasan sebesar 31 HRC (tapak rantai impor: 28 HRC), dan kekuatan tarik sebesar 96 Kgf/mm² (Standar JIS: 89.7 Kgf/mm²).

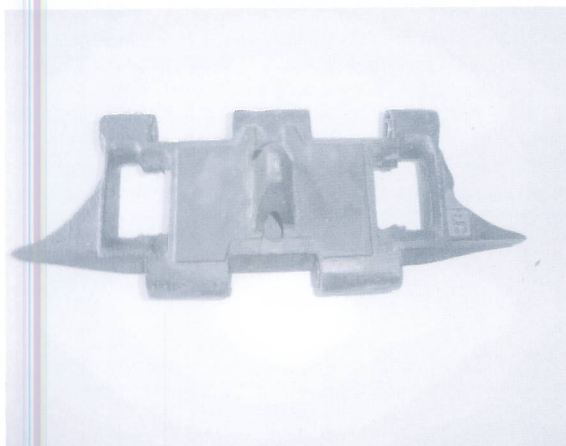
Kata kunci : tapak rantai, *compacted vermicular bainite*, mangan, molibden

PENDAHULUAN

Tapak rantai (track link) adalah komponen dari kendaraan tempur yang berfungsi untuk menapak sekaligus menggerakkan kendaraan tempur tersebut. Karena pemakaian tersebut maka dibutuhkan sifat yang tahan aus tetapi tetap ulet. Karena umur pakai komponen ini hanya sekitar satu tahun, maka digolongkan sebagai komponen yang *consumable*. Setiap tank membutuhkan 180 tapak rantai, sedangkan

jumlah kendaraan tempur tank yang dimiliki oleh TNI saat ini sudah mencapai sekitar 1300 buah. Dengan adanya rencana pemerintah untuk meningkatkan Alutsista, dapat dipastikan kebutuhan komponen ini akan semakin meningkat pada masa mendatang. Tetapi sangat disayangkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut masih harus mengimpor. Sudah ada usaha untuk membuat komponen tersebut di dalam negeri tetapi masih belum terpenuhi sifat mekanisnya. Berdasarkan hal tersebut,

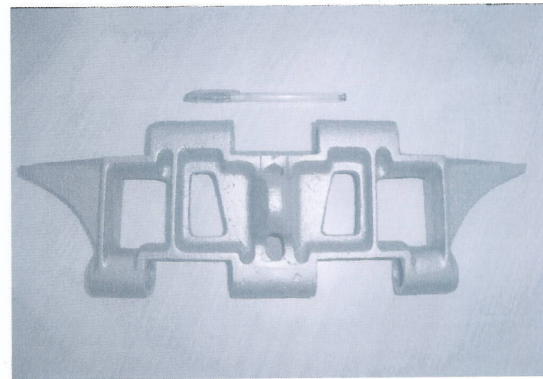
maka dilakukan penelitian tentang pengembangan material tapak rantai yang dimulai dari analisa tapak rantai impor dan dilanjutkan dengan penelitian dan pengembangan material untuk pembuatan prototipe. Dari hasil uji komposisi kimia diketahui komponen ini menggunakan material *low alloy steel*. *Low alloy steel* adalah paduan baja cor yang mengandung unsur penambah hingga 8%, termasuk unsur karbon, untuk menghasilkan sifat yang diinginkan¹⁾. Gambar 1 memperlihatkan tapak rantai kendaraan tempur tank impor.



Gambar 1. Produk impor tapak rantai kendaraan tempur tank yang sudah diberi bantalan *polymer* dan siap pakai

Setelah diperoleh karakteristik material impor maka dilakukan pembuatan prototipe tapak rantai di laboratorium Pengecoran dan Perlakuan Panas Balai Besar Logam Dan Mesin - Kementerian Perindustrian. Hasil dari pengujian prototipe tapak rantai diperoleh sifat yang lebih baik dibandingkan tapak rantai impor. Pengembangan komposisi material dan modifikasi proses perlakuan panas menghasilkan kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan aus dan *performance* keuletan yang lebih baik dibandingkan produk impor maupun standar JIS G 5111. Gambar 2 memperlihatkan produk prototipe tapak rantai. Sedangkan gambar 3 memperlihatkan kendaraan tempur tank yang sedang melaju dengan tapak

rantainya.



Gambar 2. Prototipe tapak rantai tank



Gambar 3. Kendaraan tempur tank scorpion yang dimiliki TNI sedang melaju dengan tapak rantainya

METODE

Penelitian ini adalah penelitian terapan yang dimulai dengan analisa produk dan material tapak rantai impor. Analisa produk adalah menggambar bentuk produk untuk dijadikan acuan untuk mengembangkan gambar prototipe. Analisa material dilakukan dengan cara menganalisa komposisi kimia dan struktur mikro, pengujian kekerasan, dan pengujian ketahanan aus. Karakteristik material hasil analisa material tapak rantai impor digunakan sebagai acuan untuk melakukan pengembangan material.

Pengembangan material difokuskan kepada penelitian memodifikasi komposisi kimia dan memodifikasi proses perlakuan panas yang tepat. Modifikasi komposisi

kimia dilakukan dengan menambah atau mengurangi kadar unsur tertentu untuk melihat pengaruhnya pada sifat material. Tabel 1 berikut memperlihatkan penambahan dan pengurangan unsur untuk setiap komposisi.

Tabel 1. Pengurangan dan penambahan unsur pada penelitian memodifikasi komposisi kimia

Unsur	Komposisi				
	1	2	3	4	5
Mn	-	-		+	+
Cr	-	-	-		-
Si					
Mo		+		+	

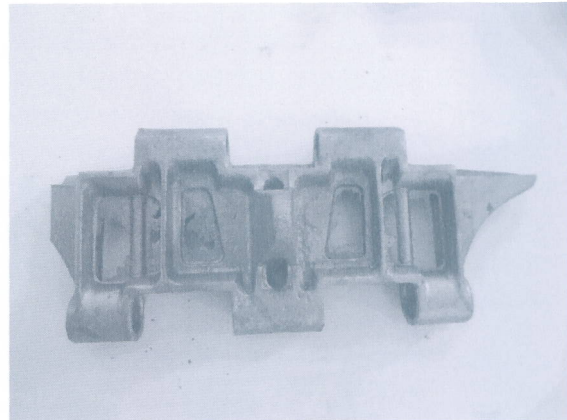
Keterangan:

- + : Kadar unsur ditambah
- : Kadar unsur dikurangi

Pembuatan prototipe dilakukan di laboratorium pengecoran Balai Besar Logam Dan Mesin. Penambahan maupun pengurangan kadar unsur tertentu dilakukan dengan penambahan atau pengurangan jumlah pematu, yaitu paduan Fe-Mn, Fe-Cr, Fe-Si dan Fe-Mo. Peleburan dilakukan pada tungku induksi frekuensi menengah kapasitas 200 kg. Setelah logam mencair, maka dituangkan ke dalam cetakan. Cetakan yang digunakan adalah cetakan pasir kering dengan pengikat jenis resin. Prototipe yang dihasilkan terdiri dari lima jenis prototipe yang berbeda komposisi kimianya.

Untuk menganalisa karakteristik material prototipe maka dilakukan beberapa jenis pengujian. Pengujian yang dilakukan pada sampel uji adalah pengujian tarik, untuk membandingkan kekuatan tarik material prototipe dengan standar JIS G 5111. Sedangkan pengujian yang dilakukan langsung pada produk terdiri dari analisa komposisi kimia dan struktur mikro, pengujian kekerasan, pengujian ketahanan aus, serta menganalisa struktur mikro. Selain itu juga dilakukan perbandingan unjuk (*performance*) keuletan produk impor dengan produk prototipe. Seluruh pengujian yang dilakukan pada produk tapak rantai baik prototipe maupun impor, dilakukan pada daerah sirip tapak rantai. Gambar 4

berikut memperlihatkan tapak rantai yang sudah terpotong pada daerah siripnya untuk pengujian.



Gambar 4. Tapak rantai yang telah dipotong siripnya.

Dari seluruh hasil pengujian, maka diperoleh sebuah kesimpulan perbandingan sifat mekanis dari produk prototipe dengan produk impor maupun standar JIS G 5111.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia material produk impor dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Komposisi kimia material produk impor

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe
0.34	0.49	0.79	0.01	0.02	0.97	0.32	sis

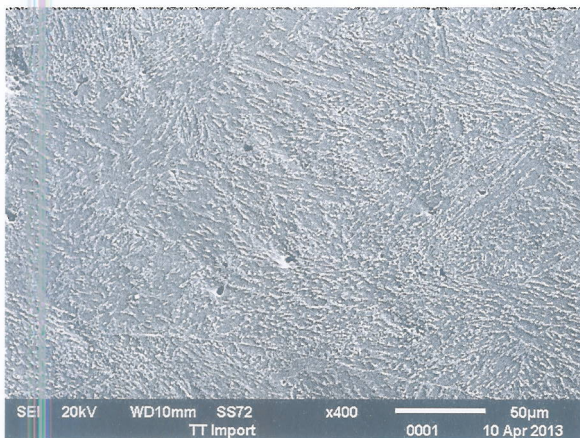
Bila membandingkan komposisi kimia material produk impor dengan standar JIS G 5111²⁾ (baja cor paduan rendah dengan kekuatan tinggi), material ini digolongkan sebagai klas SCCrM 3. Klas SCCrM 3 terdiri dari 2 tipe; tipe A dan tipe B, dimana tipe A mengalami perlakuan panas normalisasi yang dilanjutkan dengan temper (*normalizing-temper*), sedangkan tipe B mengalami perlakuan panas pencelupan yang dilanjutkan dengan temper (*quenching temper*). Klas SCCrM 3A memiliki sifat mekanis sebagai berikut, kekuatan tarik: 690 N/mm² (70.4Kgf/mm²) dan kekerasan: minimal 201 skala brinell (14 skala Rockwell C). Sedangkan untuk klas SCCrM 3B

memiliki sifat mekanis sebagai berikut, kekuatan tarik 740 N/mm^2 (75.5 Kg/mm^2) dan kekerasan: minimal 217 skala brinell (18 skala Rocwell C). Untuk seluruh klas dari standar JIS G 5111 yang memiliki kekuatan tarik serta kekerasan tertinggi adalah klas SCNCrM 2B, dengan kekuatan tarik minimal 880 N/mm^2 (89.7 Kg/mm^2) dan kekerasan minimal 269 skala brinell (28 skala Rocwell C). Tabel 3 berikut memperlihatkan komposisi kimia untuk klas SCCrM 3 dari standar JIS G 5111.

Tabel 3. Komposisi kimia klas SCCrM 3 standar JIS G 5111²⁾

C	Si	Mn	P
0.30-0.40	0.30-0.60	0.50-0.80	0.04 max
S	Cr	Mo	Fe
0.04max	0.80-1.20	0.15-0.35	sisa

Dari hasil analisa struktur mikro memperlihatkan bahwa struktur mikro untuk material produk impor adalah bainit (*bainite*). Gambar 5 memperlihatkan struktur mikro hasil tampilan dari *secondary electron image* yang menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dari material produk impor.



Gambar 5. Tampilan *secondary electron image* dari material produk impor. Terlihat *acicular bainite*. Perbesaran 400 x

Tidak seperti fasa perlit (*pearlite*), pada bainit struktur ferit (*ferrite*) memiliki bentuk *acicular* dan karbida sebagai partikel tersendiri. Karena bentuk yang berbeda ini, bainit memiliki sifat yang berbeda dengan perlit. Secara umum baja bainit (*bainitic steel*) mempunyai kekuatan yang tinggi

dengan ketangguhan yang baik, sedangkan baja perlit (*pearlitic steel*) mempunyai kekuatan yang tinggi tetapi ketangguhannya lebih rendah³⁾. Pembentukan perlit dikontrol oleh difusi atom karbon. Pada kondisi temperatur dan laju pendinginan kritis, proses difusi atom karbon menjadi terbatas sehingga perubahan kristal terjadi melalui mekanisme *shearing* atau *cooperative displacement*. Mekanisme ini menghasilkan struktur yang disebut bainit. Pada bainit, kristal ferite akan memiliki morfologi *elongated* dan sementit (*cementite*) tidak berbentuk *lamellar*⁴⁾.

Bainit memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferite dan perlit. Tabel 4 berikut memperlihatkan perbandingan kekerasan bainit dengan fasa yang lain di dalam besi tuang nodular dengan kandungan molybdenum 1%⁵⁾.

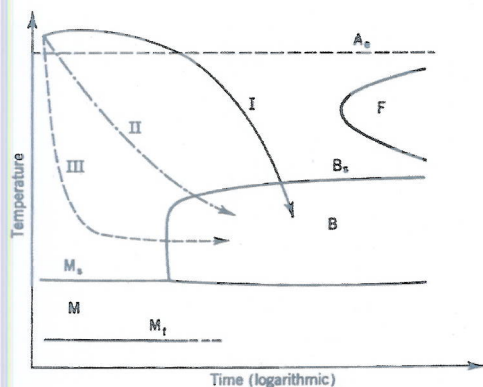
Tabel 4. Kekerasan (skala brinell) dari fasa-fasa di dalam besi tuang nodular yang mengandung Mo 1%⁵⁾

Ferit	perlit	bainit	Senyawa Mo-Fe
163	375	438	876

Pembagian bainit umumnya berdasarkan dari daerah temperatur pembentukannya. *Upper bainite* terbentuk secara *isothermal* pada daerah temperatur antara $400-550^\circ\text{C}$. Sedangkan *lower bainite* terbentuk secara *isothermal* pada daerah temperatur antara $250-400^\circ\text{C}$ ³⁾. *Upper bainite* umumnya terdiri dari kumpulan ferit dengan partikel sementit yang kasar diantara bilah-bilah ferit. Sedangkan *lower bainite* terdiri dari plat-plat ferit yang mengandung partikel-partikel karbida yang sangat halus. Bainit didominasi oleh fasa ferit dan partikel-partikel karbida yang sangat halus (tidak terlihat oleh mikroskop optik). Pada baja paduan mangan, molibden, dan silikon, struktur bainit terdiri dari ferit dan austenit (atau martensit yang terbentuk dari austenit)⁴⁾.

Selain adanya bainit yang mengandung karbida (*carbide-containing bainite*), ada juga bainit yang tidak mengandung karbida (*carbide-free bainite*) atau dikenal sebagai *granular bainite*. *Granular bainite* dapat terdiri dari austenit

sisia dan agregate martensite/austenite. *Granular bainite* adalah hasil dari laju pendinginan yang lebih lambat sehingga mengenai puncak dari kurva pembentukan bainit. Pendinginan lebih lambat mengurangi *carbon supersaturation* di dalam austenit sehingga akan menurunkan kemungkinan terjadinya pengendapan karbida⁶⁾. Gambar 6 berikut memperlihatkan skematik pembentukan bainit di dalam baja paduan rendah (*low alloy steel*).



Keterangan :

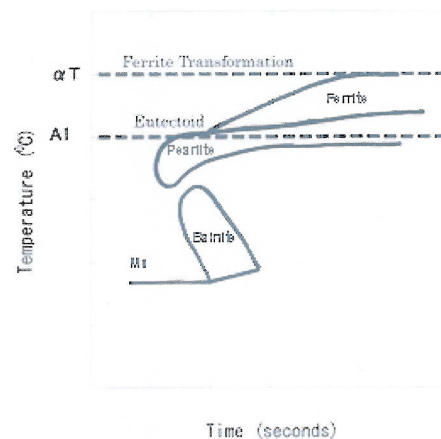
- I. Menghasilkan struktur austenit dan partikel austenitik – martensitik (*granular bainite*)
- II. Menghasilkan *upper bainite*
- III. Menghasilkan *lower bainite*

Gambar 6⁶⁾. Skematik dari pembentukan bainite di dalam baja paduan rendah (*low alloy steel*).

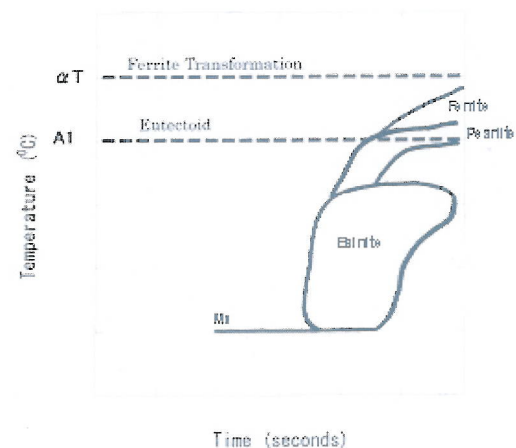
Komposisi kimia dari material produk impor adalah baja paduan rendah dengan paduan utamanya adalah Mn, Cr dan Mo (lihat tabel 1). Mangan adalah unsur pembentuk perlit yang sangat kuat, karena menstabilkan austenit dengan cara meningkatkan kelarutan karbon di dalam austenit dan juga menurunkan temperatur kesetimbangan pembentukan ferit. Krom adalah juga unsur pembentuk perlit yang kuat, tetapi juga merupakan unsur yang sangat kuat untuk mempromosikan terbentuknya karbida. Sedangkan molibden adalah unsur yang sangat kuat untuk meningkatkan mampu keras (*hardenability*). Molibden bukan unsur yang dapat mempromosikan terbentuknya perlit^{7,5)}.

Bila ditinjau dari pengaruh unsur sebagai unsur yang dapat mempromosikan

pembentukan bainit, diurutkan dari yang terkuat adalah sebagai berikut, Mn, Mo, Cr, Si, Ni⁶⁾. Dengan adanya penambahan Mo maka akan merubah diagram *continuous cooling transformation (CCT)*, sehingga daerah pembentukan bainit akan bergeser ke kiri yang akan meningkatkan kecenderungan terbentuknya bainit. Secara skematis perubahan diagram CCT dengan adanya penambahan Mo dapat dilihat pada gambar 7 berikut ini⁵⁾



(a) Sebelum penambahan Mo



(b) Setelah penambahan Mo

Gambar 7⁵⁾. Skematis perubahan diagram CCT dari sebelum dan setelah penambahan molibden

Untuk menentukan komposisi kimia material prototipe dilakukan pengujian awal dengan menggunakan 5 komposisi kimia

yang berbeda, dimana sebagai acuan adalah komposisi kimia dari material impor. Tabel 5 berikut memperlihatkan 5 buah komposisi kimia yang digunakan untuk penelitian modifikasi komposisi kimia tapak rantai. Penambahan dan pengurangan yang dilakukan pada unsur-unsur pembentuk bainit, yaitu Mn, Mo, Cr dan Si.

Tabel 5. Komposisi kimia dari 5 buah produk prototipe tapak rantai

Unsur	Komposisi				
	1	2	3	4	5
C	0,22	0,29	0,23	0,25	0,42
Si	0,28	0,64	0,27	0,31	0,44
Mn	0,34	0,34	0,69	1,04	1,60
P	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cr	0,61	0,64	0,28	0,90	0,77
Mo	0,29	0,46	0,33	0,50	0,28
Fe	sisa	sisa	sisa	sisa	sisa

Keterangan: Kadar unsur yang ditebalkan menunjukkan penambahan atau pengurangan kadar dibandingkan dengan material impor

Pada semua jenis prototipe dengan komposisi kimia yang berbeda, lalu dilakukan pengujian kekerasan. Tabel 6 berikut ini memperlihatkan hasil pengujian kekerasan untuk ke lima jenis prototipe tersebut.

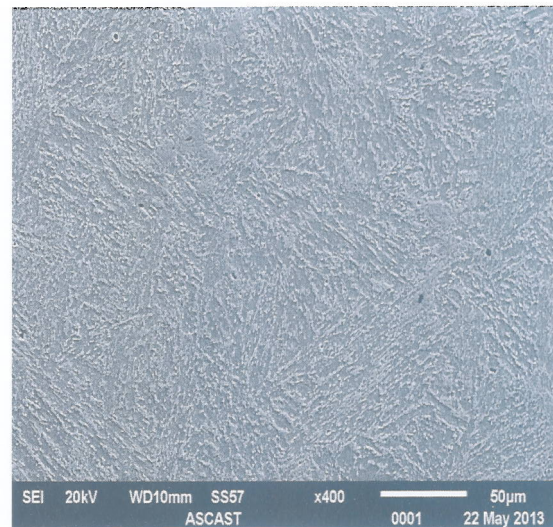
Tabel 6. Nilai kekerasan (skala Rocwell C/skala Brinell) untuk lima jenis prototipe tapak rantai dengan komposisi yang berbeda

	As-Cast	Normalizing udara
Komposisi 1	17/215	20/223
Komposisi 2	16/212	21/229
Komposisi 3	16/212	21/229
Komposisi 4	25/255	29/277
Komposisi 5	22/235	26/255

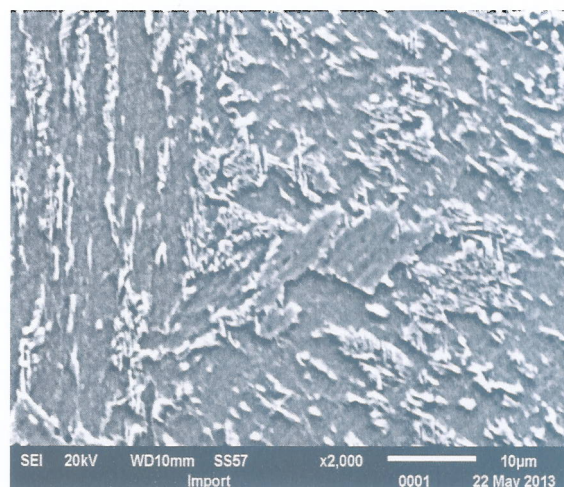
Hasil dari pengujian kekerasan memperlihatkan bahwa prototipe dengan komposisi no 4 memiliki nilai kekerasan tertinggi, baik untuk produk sebelum mengalami perlakuan panas (*as-cast*) maupun untuk produk yang telah mengalami perlakuan panas *normalizing* dengan pendinginan udara. Selanjutnya komposisi no 4 akan digunakan sebagai acuan membuat prototipe berikutnya.

Struktur mikro dari material prototipe

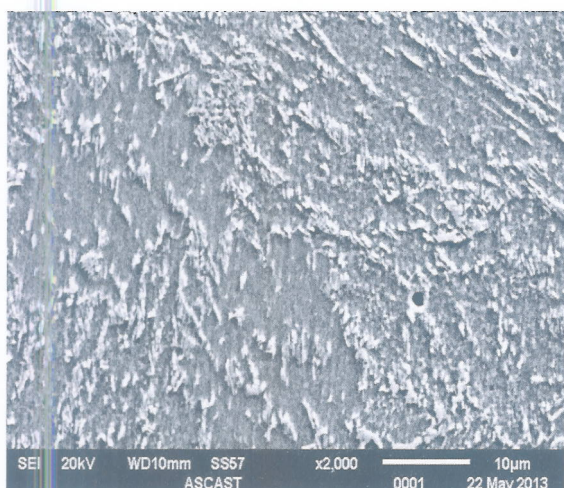
as-cast dapat dilihat pada gambar 8. Bila dibandingkan dengan produk impor, terlihat bahwa *acicular bainite* dari material produk prototipe dan impor hampir serupa. Sedikit perbedaan adalah *acicular bainite* pada produk prototipe terlihat lebih halus dengan jumlah yang lebih sedikit. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 9 yang memperlihatkan perbandingan struktur mikro kedua material dengan perbesaran 2000 x.



Gambar 8. Tampilan *secondary electron image* dari material prototipe sebelum perlakuan panas. Terlihat *acicular bainite*. Perbesaran 400 x



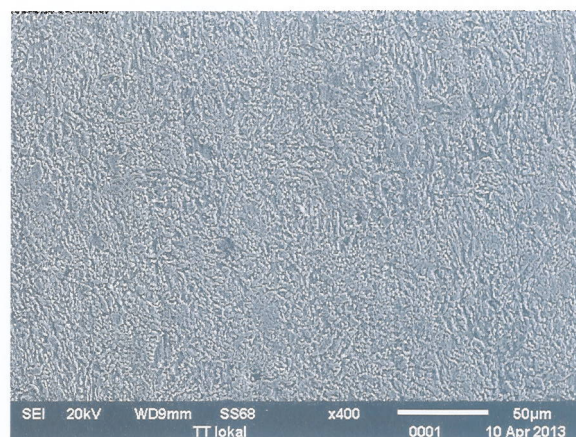
(a)



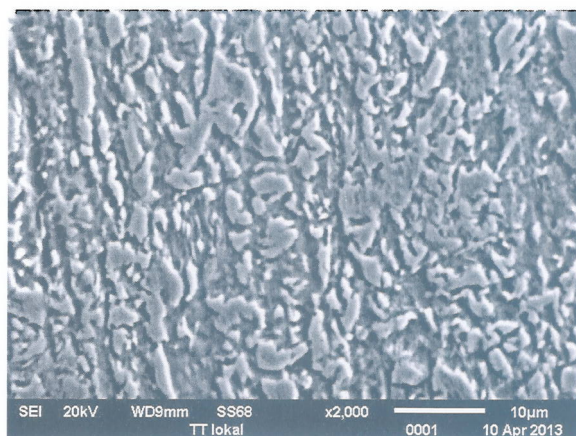
(b)

Gambar 9. Tampilan *secondary electron image* dari material impor (a); dan material prototipe sebelum perlakuan panas (b). Perbesaran 2000 x

Berdasarkan standar JIS G5111, proses perlakuan panas untuk *high tensile strength low alloy steel casting* terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *normalizing-temper* dan *quenching temper*. Proses perlakuan panas yang diaplikasikan pada prototipe tapak rantai menggunakan proses *normalizing* memakai pendinginan kipas (*fan*), tanpa menggunakan proses *temper*. Tapak rantai di panaskan di dalam dapur hingga mencapai temperatur austenit-nya (940°C), ditahan selama 1 jam, lalu dikeluarkan dari dapur untuk didinginkan menggunakan kipas. Dengan pendinginan kipas diharapkan akan diperoleh laju pendinginan yang lebih cepat, sehingga akan terbentuk bainit dengan sempurna. Sedangkan dihilangkannya proses *temper* bertujuan untuk mencegah penurunan kekerasan maupun kekuatan tarik. Gambar 10 dan 11 berikut adalah struktur mikro dari material prototipe setelah perlakuan panas. Terlihat bahwa fasa *acicular bainite* semakin berkurang dan membentuk *compact vermicular bainite*. Laju pendinginan yang lebih cepat akibat hembusan angin dari kipas dan penambahan unsur Mo serta Mn, menyebabkan terbentuknya bainit dengan morfologi *compact vermicular*.



Gambar 10. Tampilan *secondary electron image* dari material prototipe setelah perlakuan panas. Terlihat fasa *compact vermicular bainite* mendominasi. Perbesaran 400 x



Gambar 11. Tampilan *secondary electron image* dari material prototipe setelah perlakuan panas. Perbesaran 2000 x

Untuk menganalisa lebih dalam fasa-fasa pada struktur mikro, maka dilakukan analisa EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), untuk melihat komposisi kimia dari setiap fasa. Pada fasa *acicular (vermicular)* untuk ketiga jenis material (impor, prototipe sebelum perlakuan panas, dan prototipe setelah perlakuan panas) memiliki kandungan karbon (C) yang lebih rendah tetapi mengandung kadar krom (Cr) yang lebih tinggi dibandingkan fasa bukan *acicular (vermicular)*. Kandungan C dan Cr pada setiap fasa dapat dilihat pada tabel 7 dan 8 berikut ini.

Tabel 7. Kandungan karbon pada fasa *acicular* (*vermicular*) dan bukan fasa *acicular* (*vermicular*) dalam % atom

	Impor	Prototipe sebelum perlakuan Panas	Prototipe setelah perlakuan panas
Fasa <i>acicular</i> (<i>vermicular</i>)	16,83	11,,23	11,20
Fasa bukan <i>acicular</i> (<i>vermicular</i>)	21,02	12,04	13,79

Tabel 8. Kandungan krom pada fasa *acicular* (*vermicular*) dan bukan fasa *acicular* (*vermicular*) dalam % atom

	Impor	Prototipe sebelum perlakuan panas	Prototipe setelah perlakuan panas
Fasa <i>acicular</i> (<i>vermicular</i>)	1.01	1,05	1,19
Fasa bukan <i>acicular</i> (<i>vermicular</i>)	0,95	0,83	0,90

Fasa *acicular* (*vermicular*) merupakan fasa yang terbentuk dari segregasi fasa *single austenite* melalui proses perpindahan atom karbon meninggalkan fasa *single austenite* tersebut seiring dengan penurunan temperatur. Akibatnya fasa ini memiliki kadar karbon yang lebih rendah dibanding fasa austenit sisa. Fasa ini juga mengandung jumlah Cr yang lebih tinggi, sehingga lebih keras dibandingkan austenite sisa. Peningkatan kekerasan terjadi akibat mekanisme *atom substitution strengthening*. Atom Cr menggantikan posisi atom karbon didalam kristal FCC *austenite* sehingga terjadi peningkatan kekerasan. Karena Fasa *acicular* (*vermicular*) lebih keras, akan menyebabkan tampilan fasa *acicular* (*vermicular*) memiliki tampilan lebih terang pada *secondary electron image*, karena tidak terkikis pada proses pengetsaan.

Perbandingan nilai kekerasan rata-

rata untuk material impor, material prototipe sebelum perlakuan panas dan material prototipe setelah perlakuan panas dapat dilihat pada tabel 9. Terlihat bahwa material prototipe setelah perlakuan panas memiliki nilai kekerasan tertinggi. Bentuk fasa *compacted vermicular bainite* yang lebih kompak serta merata, dengan kekerasan yang tinggi, menyebabkan nilai kekerasan material tapak rantai prototipe menjadi lebih tinggi.

Tabel 9. Nilai kekerasan (skala Rocwell C/skala Brinell) untuk ketiga material

Impor	Prototipe sebelum perlakuan panas	Prototipe setelah perlakuan panas
28/269	25/255	31/293

Perbandingan nilai ketahanan aus tapak rantai impor dan prototipe dapat dilihat pada tabel 10. Nilai ketahanan aus dihitung dari kehilangan berat (dalam %) setelah sampel diekspos pada piringan penggesek dengan beban 10 kg dalam waktu 30 menit. Terlihat bahwa produk prototipe lebih tahan aus. Semakin keras material maka ketahanan ausnya juga semakin baik.

Tabel 10. Nilai ketahanan aus yang dihitung dari kehilangan berat (dalam %)

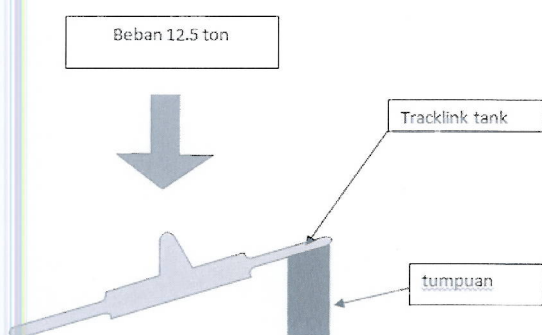
Impor	Prototipe dengan perlakuan panas
0,55	0,24

Tabel 11 berikut ini memperlihatkan perbandingan nilai kekuatan tarik material prototipe dengan nilai kekuatan tarik terbesar dari standar JIS G 5111 (klas SCNCrM 2B). Sampel uji yang digunakan pada uji tarik mengacu kepada standar JIS Z 2201, yaitu menggunakan sampel No.4²⁾. Terlihat bahwa kekuatan tarik material prototipe (96 Kg/mm²) sudah melebihi nilai tertinggi dari standar JIS G 5111.

Tabel 11 Nilai kekuatan tarik (Kg/mm²)

Prototipe dengan perlakuan panas	Standar JIS G 5111 yang terbesar
96	89.7

Untuk membandingkan keuletan dari produk prototipe dan produk impor, dilakukan pembebanan produk prototipe menggunakan kendaraan tempur. Skematik pembebanan dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Skematik pembebanan prototipe tapak rantai

Produk prototipe yang sudah mengalami pembebanan dibandingkan dengan produk impor yang sudah melengkung pada daerah siripnya akibat pemakaian. Gambar 13 memperlihatkan perbandingan tapak rantai tank yang melengkung pada daerah siripnya.



Produk impor



Produk prototipe

Gambar 13. Perbandingan tapak rantai tank yang melengkung

Material tapak rantai tank dari

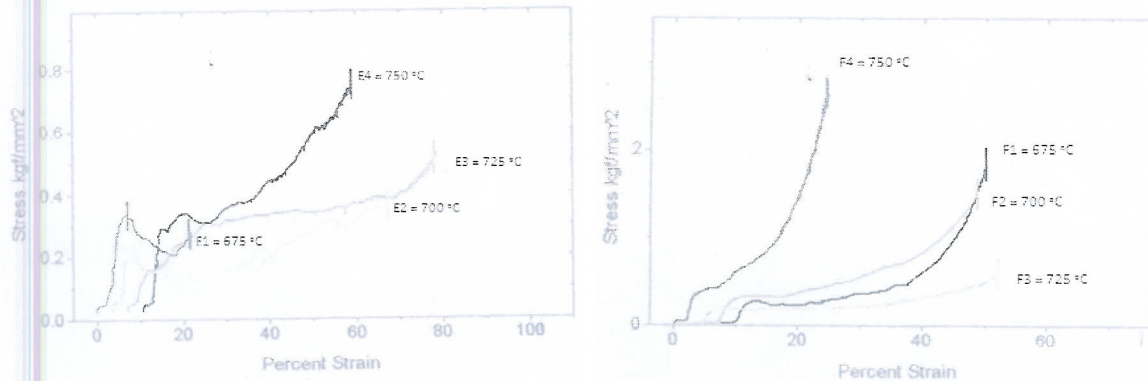
prototipe yang memiliki struktur mikro *compacted vermicular bainite* yang tersebar merata serta lebih kompak akan menghasilkan kekerasan, ketahanan aus dan keuletan yang lebih baik dari material tapak rantai tank impor. Kekuatan tarik dari material prototipe juga memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan standar JIS G 5111. *Compacted vermicular bainite* yang lebih keras, karena mengandung krom sehingga terjadi penguatan dengan mekanisme *atom substitution strengthening*, sehingga material prototipe menjadi lebih keras dan tahan aus. Bentuk *Compacted vermicular bainite* yang lebih kompak menyebabkan tidak terkonsentrasinya tegangan yang diaplikasikan pada material sehingga kekuatan tarik dan keuletannya menjadi lebih tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Prototipe tapak rantai kendaraan tempur tank yang menggunakan baja paduan rendah dengan penambahan mangan dan molibden, serta memakai perlakuan panas normalisasi pendinginan kipas, menghasilkan struktur mikro *compacted vermicular bainite*. Karena kandungan krom yang lebih besar pada fasa *compacted vermicular bainite* menyebabkan fasa ini lebih keras dibandingkan fasa austenit sisa. Produk prototipe akhirnya memiliki sifat mekanis yang lebih baik dibandingkan dengan tapak rantai impor yang memiliki struktur mikro *acicular bainite*. Bentuk bainit pada material prototipe dengan morfologi yang lebih kompak dan tersebar merata serta lebih keras menyebabkan nilai kekerasan, kekuatan tarik, ketahanan aus dan sifat keuletan menjadi lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi membiayai dana penelitian Insentif PKPP Republik Indonesia yang



Gambar 18. Grafik kurva uji tekan aluminium foam. (a) 5% foaming agent; (b) 7% foaming agent,

tahun 2012 dan Insentif Riset SINAS tahun 2013, serta semua pihak yang telah memberikan sumbangan pemikiran dan diskusi yang berguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Metal Handbooks volume 15, *Casting*, 1998, ASM International Handbook Committee
- JIS Handbook, *Ferrous Materials & Metallurgy I*, 1999, Japanese Standards Association
- Metal Handbooks volume 20, *Materials Selection and Design*, 1997, ASM International Handbook Committee
- Metal Handbooks volume 1, 2005, *Properties and Selection Irons, Steels and High Performance Alloys*, ASM International Handbook Committee
- Sri Bimo Pratomo, 2010, *Research on Nodular Cast Iron Containing of Small Amount Boron*, Doctor Dissertation, Iwate University, Morioka, Japan
- Roger K. Steele, 2002, *Steel Alloys with Lower Bainite Microstructures for Use in Railroad Cars and Track*, Research and Special Programs Administration, Cambridge, U.S. Department of Transportation
- J.F. Janowak, R.B. Gundlach, 1982, *A Modern Approach to Alloying Gray Iron*, Journal of AFS Transactions volume 90: 857