

PENGEMBANGAN *BOOGIE WHEEL TANK* AMX-13 UNTUK KOMPONEN KENDARAAN TEMPUR *TANK* JENIS RINGAN

THE DEVELOPMENT OF BOOGIE WHEEL OF AMX-13 TANK FOR LIGHT BATTLE VEHICLE COMPONENT

Purbaja Adi Putra, Luky Krisnadi, Moch. Iqbal Zaelana Muttahar, Hafid Abdullah*,
Dewi Amalia

Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Kementerian Perindustrian
Jl. Sangkuriang No. 12 Bandung 40135

Diterima: 23 Nopember 2020

Direvisi: 7 Desember 2020

Disetujui: 29 Desember 2020

ABSTRAK

Pengembangan *boogie wheel tank* AMX-13 untuk komponen kendaraan tempur *tank* jenis ringan telah dilakukan. Tujuan pengembangan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah membuat prototip *boogie wheel* dari material aluminium AC4C (Standar JIS) melalui proses pengecoran dan perlakuan panas sebagai upaya meningkatkan kemampuan teknologi dan produksi industri pertahanan dalam negeri agar dapat membantu mengurangi ketergantungan TNI terhadap impor komponen *boogie wheel*. Keunggulan dari invensi ini, yaitu: (1) mengurangi berat total *tank* AMX-13 karena *boogie wheel* yang dibuat sebelumnya menggunakan material baja, (2) dihasilkan *boogie wheel* yang mempunyai kekuatan yang setara produk aslinya, dan (3) menurunkan waktu pembuatan dan biaya produksi bila dibandingkan menggunakan proses tempa. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan diketahui bahwa faktor-faktor yang menentukan kualitas produk *boogie wheel* yang dibuat adalah: (1) *dies boogie wheel*, (2) pemaduan material, (3) proses peleburan dan penuangan, serta (4) proses perlakuan panas. Dengan dikuasainya teknologi pengecoran dan perlakuan panas, maka dapat dikembangkan pembuatan *boogie wheel* untuk jenis *tank* lainnya.

Kata kunci: AMX-13, *boogie wheel*, pengecoran, perlakuan panas, tempa

ABSTRACT

The development of boogie wheel for the light battle AMX-13 tank components has been carried out. The purpose of the research was to make a boogie wheel prototype from aluminum material AC4C (JIS Standard) through casting and heat treatment processes, in order to improve the technology and production capabilities of the domestic defense industry to reduce the TNI dependence on imported boogie wheel components. The advantages of this invention, namely: (1) reducing the total weight of AMX-13 tanks because the previous boogie wheels were made of steel material, (2) the prototype of boogie wheels had a similar strength to the original product, and (3) to minimize the manufacturing time and production costs when compared to those of the forging process. Based on the experimental results, the quality of the boogie wheels depended on some factors, such as: (1) dies of boogie wheel, (2) alloying treatment, (3) melting and pouring, as well as (4) heat treatment processes. By mastering the casting and heat treatment technologies, boogie wheel for other types of tanks can be developed.

Keywords: AMX-13, *boogie wheel*, casting, heat treatment, forging.

PENDAHULUAN

Tentara Nasional Indonesia (TNI) memiliki berbagai alat utama sistem pertahanan (Alutsista) yang digunakan untuk menjaga dan mengamankan kedaulatan negara dari serangan musuh. Salah satu jenis Alutsista adalah kendaraan tempur berlapis baja yang disebut

tank, seperti: *Tank Scorpion*, *Leopard*, *Marder*, *PT-76*, *AMX* dan sebagainya [1]. Saat ini batalyon Kavaleri TNI-AD memiliki sekitar 275 unit *tank* AMX yang masih aktif beroperasi, terdiri dari versi kanon, versi angkut personel dan versi artileri 105 mm. Bobot seberat 13 ton dan kemampuannya yang hanya menampung tiga orang awak menjadikan AMX termasuk dalam

*Corresponding author

Email: hafid@kemenperin.go.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v10i2.186>

kelas *tank* ringan. *Tank* ini adalah buatan Atelier de Construction d'Issy les Mounlineaux (AMX) dari Perancis atau lebih populer dengan nama AMX-13 [2-4].

Tank AMX-13 yang dibeli oleh Indonesia pada tahun 1960-an merupakan kendaraan tempur paling modern dikelasnya pada saat itu, digunakan dalam rangka misi operasi Trikora (Pembebasan Irian Jaya) dari tangan Belanda maupun saat operasi pembebasan Timor Timur dalam operasi Seroja. Meskipun *tank* AMX usianya sudah tua, tapi kondisinya masih bagus sehingga layak untuk terus digunakan. Namun karena sudah cukup lama diproduksi, sejak sekitar tahun 1990, produsen pembuat *tank* ini sudah tidak beroperasi lagi [5-6]. Hal tersebut yang menyebabkan sulitnya pasokan komponen *tank* ini. Sebagai upaya mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap impor Alutsista dan meningkatkan kemandirian

persenjataan militer TNI, maka penguasaan teknologi industri pertahanan dalam negeri harus mampu membuat komponen Alutsista yang dibutuhkan TNI-AD agar bangsa kita tidak terus bergantung pada negara lain [7-8].

Untuk menggerakkan *tank* diperlukan sistem penggerak yang terdiri dari *sprocket*, komponen roda (*boogie wheel*) dan rantai. *Boogie wheel* adalah bagian dari sistem penggerak roda yang terdiri dari rantai, *boogie wheel*, lengan ayun dan *shock absorber*, *sprocket*, tuas penggerak dan tersambung ke mesin. Fungsi *boogie wheel* pada *tank* adalah sebagai penahan dan pembagi beban sekaligus sebagai pengarah tapak rantai (*track link*) supaya tidak bergeser pada posisinya. *Boogie wheel* ini tidak berfungsi sebagai penggerak, tetapi ikut bergerak dengan *sprocket* yang memutar rantai *tank* (Gambar 1). [1, 5, 9].



(a) *Tank* AMX-13



(b) *Boogie Wheel*, dan Rantai

Gambar 1. Roda/*Boogie Wheel* *Tank* AMX-13

Kebutuhan akan *boogie wheel* dalam satu *tank* minimal adalah 20 keping untuk *tank* tempur dan 24 keping untuk *tank* pengangkut personil (APC). Kebutuhan untuk komponen tersebut setiap tahunnya adalah sekitar 10.000 buah *boogie wheel* untuk *tank* AMX saja [5]. Jumlah kendaraan tempur *tank* yang dimiliki TNI saat ini mencapai lebih dari 1.300 unit [7, 10]. Hal ini dapat menjadi peluang bagi industri pengecoran logam nasional untuk dapat melakukan fabrikasi [8]. Namun sangat disayangkan kebutuhan *boogie wheel* dipenuhi oleh negara-negara pembuat kendaraan tempur. Tingkat ketergantungan Indonesia terhadap impor komponen *boogie wheel* masih sangat tinggi, harganya mahal dan waktu pengadaannya cukup lama, sehingga mengganggu kesiapan operasional kendaraan tempur *tank* pada saat dibutuhkan [7, 11].

Saat ini sudah ada industri dalam negeri yang membuat komponen *boogie wheel*, tetapi material yang digunakan adalah baja yang dibuat menggunakan proses permesinan, sedangkan komponen tersebut aslinya menggunakan material aluminium yang ditempa (*forging*). Hal ini mengakibatkan terjadinya penambahan berat sebesar 4 ton pada *tank* dan kurang lincahnya *tank* pada saat bermanuver, serta lamanya waktu pembuatan dan tingginya biaya produksi. Disisi lain, teknologi proses *forging* juga memerlukan investasi fasilitas yang besar [6, 12].

Salah satu alternatif pemecahan masalah tersebut adalah pengembangan pembuatan *boogie wheel* dari material aluminium dengan menggunakan teknologi proses pengecoran logam dan perlakuan panas. Keunggulan invensi ini adalah dapat mengurangi berat total *tank* AMX-13 karena jenis aluminium AC4C (Standar JIS) yang digunakan bobotnya lebih ringan dari

baja. Dengan memanfaatkan proses perlakuan panas didapatkan kekuatan yang lebih tinggi dari *boogie wheel* aslinya. Keuntungan lainnya adalah proses pengecoran mengurangi waktu pembuatan dan biaya produksinya bila dibandingkan dengan proses tempa. Hal ini dapat melibatkan pemberdayaan industri pengecoran berskala kecil dan menengah nasional untuk memenuhi kebutuhan *boogie wheel* yang jumlahnya besar.

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, maka tujuan pengembangan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menghasilkan suatu komponen *boogie wheel tank* AMX-13 berkualitas baik yang memenuhi persyaratan pengguna.

BAHAN DAN METODE

Produk *boogie wheel* dihasilkan melalui proses pengecoran aluminium AC4C dan perlakuan panas di *workshop* Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Kementerian Perindustrian [5,6]. Adapun beberapa pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, komposisi kimia, kekerasan, metalografi, dan impak dilaksanakan di laboratorium uji BBLM dan Polman Bandung. Sedangkan uji fungsi dilakukan di Pusat Pendidikan Kavaleri TNI-AD Padalarang.

Target kekuatan material prototipe *boogie wheel* adalah kekerasan >85 HB, kekuatan tarik >270 N/mm², *elongation* $>5\%$, dan peredaman beban kejut/*impact* $>5\%$.

Tahapan kegiatan penelitian yaitu:

1. Menyiapkan bahan-bahan:
 - a. Bahan pola : multiplex, kayu jati, dan lem kayu.
 - b. Bahan cetakan pasir : pasir silika, resin alkali phenolic, katalis, dan metanol.
 - c. Bahan *dies* : FCD 700.
 - d. Bahan peleburan : aluminium AC4C.
2. Menyiapkan mesin dan peralatan:
 - a. Mesin dan peralatan pembuatan pola.
 - b. Mesin pencetakan pasir kering/*cold box*.
 - c. Tungku peleburan aluminium kapasitas 200 kg.
 - d. Tungku perlakuan panas kapasitas 1,5 m³.
 - e. Peralatan *degasser* cairan aluminium.
 - f. *Crane* kapasitas 2 ton.
 - g. Spektrometer.

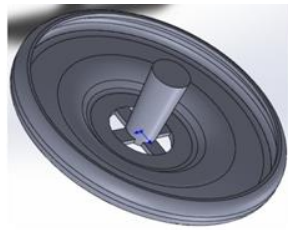
- h. *Thermocouple*.
- i. Mesin CNC, mesin bubut, mesin bor dan peralatan bantu lainnya.
- j. Alat ukur CMM (*Coordinate Measurement Machine*).
- k. Peralatan pengujian: *universal tensile test machine*, uji komposisi kimia, uji kekerasan Brinell, uji impak *Charpy*, uji *vacuum* untuk cairan aluminium, mikroskop optik dengan pembesaran maksimum 500X.

3. Tahapan kerja:

- a. Persiapan pekerjaan, meliputi: survei lapangan dan diskusi dengan para tenaga ahli material, sumber pustaka dan pengalaman BBLM dalam kegiatan pembuatan komponen Alutsista, penyusunan jadwal pelaksanaan, kebutuhan bahan dan tenaga kerja yang digunakan, urutan proses pengerjaan, penentuan *workshop* dan fasilitas produksi pengujian yang diperlukan.
- b. Pelaksanaan pekerjaan, meliputi: analisis material produk asli *boogie wheel tank* AMX-13. Selanjutnya dilakukan penelitian dan pengembangan material untuk pembuatan prototipe *boogie wheel* melalui tahapan proses: perencanaan pengecoran, pembuatan pola *dies*, pembuatan cetakan, proses peleburan dan penuangan, *finishing*, pengujian hasil sesudah proses pengecoran dan perlakuan panas.

4. Tahapan pembuatan *boogie wheel*:

- a. Perancangan *dies* (cetakan logam), yaitu mendesain bentuk dan dimensi *boogie wheel* ke dalam gambar kerja, yang: dimulai dari pembuatan gambar *casting dies*, gambar cetakan inti dan gambar pemesinan *dies*.
- b. Pembuatan *dies boogie wheel*, mula-mula dibuat pola dari bahan kayu jati dan *multiplex*. Pola tersebut dicetak menggunakan proses pasir kering (*alphaset*), kemudian dituang dengan menggunakan material FCD 700 serta dilakukan proses permesinan (*machining*) menggunakan CNC. Gambar 2 memperlihatkan proses pembuatan *dies boogie wheel*.



(a) Pemodelan Ulang Dies



(b) Pembuatan Casting dan Pemesinan Dies

Gambar 2.Proses Dies Boogie Wheel Tank AMX-13

- c. Pembuatan kotak cetakan inti (*core box*) menggunakan material dural dan kayu jati kemudian dilakukan pemesinan. Selanjutnya dibuat cetakan inti (*core*), cetakan saluran tuang dan cetakan saluran pengeluaran gas dengan menggunakan proses pasir kering (*alphaset*).



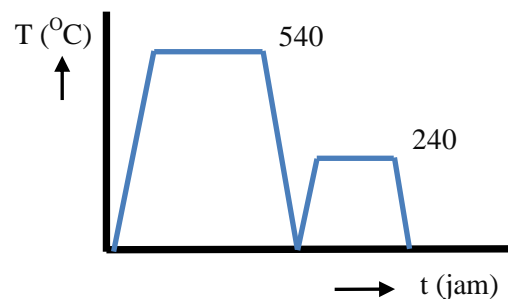
Gambar 3. Cetakan Inti (*core*)



Gambar 4. Proses Merangkai Dies dan Core

- d. Setelah cetakan inti dan *dies* siap, kemudian dilakukan perangkaian *dies*, yaitu *core* diletakkan sedemikian rupa sehingga tidak bergerak atau bergeser dari kedudukannya pada *dies* (Gambar 4). Kemudian *dies* bagian atas dipasangkan dan dijepit/klem. Sebelum dilakukan penuangan, *dies* dipanaskan dengan cara dibakar untuk menghindari terjadinya *cold shut* atau pendinginan dari cairan aluminium sebelum mengisi setiap rongga *dies* secara sempurna. Setelah cetakan siap, kemudian dilanjutkan dengan proses peleburan dan penuangan material aluminium cair ke dalam *dies*. Proses peleburan diawali dengan persiapan bahan baku tuangan, berupa ingot aluminium AC4C serta bahan penambah lainnya, lalu dimasukkan kedalam tungku peleburan dengan kapasitas 200 kg. Temperatur penuangan adalah 680-700°C.

- e. Benda cor dibongkar dan dibersihkan dari pasir yang menempel dengan cara *shot blasting*, kemudian sistem saluran tuangnya dipotong.
 f. Komponen *boogie wheel* hasil pengecoran diuji dimensi produk dan komposisi kimianya.
 g. Proses perlakuan panas berupa *Solid Solution Treatment* pada suhu 540°C selama 8 jam diikuti pendinginan cepat menggunakan air dan *aging* pada suhu 240°C selama 6 jam yang diikuti dengan berbagai variasi pendinginan (Gambar 5)



Gambar 5. Siklus Perlakuan Panas

Pemilihan variasi temperatur dan waktu proses ini mengikuti standar proses perlakuan panas (*heat treatment*) untuk material AC4C yaitu T6 yang akan menghasilkan kekerasan 85 BHN, kekuatan tarik minimal 240 N/mm² serta elongasi 3% minimal.

- h. Pengujian setelah proses perlakuan panas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi Pengecoran dan Perlakuan Panas

Boogie wheel dibuat menggunakan teknologi pengecoran dan perlakuan panas sebagai berikut.

Teknologi pengecoran merupakan salah satu teknik pengerjaan logam yang dapat menghasilkan produk yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi [7,13]. Pengembangan teknologi pengecoran sangat diperlukan untuk menghasilkan produk coran berkualitas tinggi dengan karakteristik tertentu, yaitu sifat-sifat mekanis dan fisik yang tinggi, kandungan cacat-cacat pada produk cor yang sangat rendah, penampakan produk cor yang baik, kehalusan permukaan benda cor, ketepatan ukuran benda cor, laju produksi yang tinggi, dan biaya produksi yang rendah [7, 14, 15, 16].

Untuk meningkatkan sifat mekanik dan sifat fisik suatu logam dalam keadaan padat dapat dilakukan dengan cara perlakuan panas (*heat treatment*) yang merupakan kombinasi proses pemanasan dan pendinginan logam dalam waktu

tertentu [7, 17]. Perlakuan panas adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan tanpa mengubah komposisi kimia dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan.

Material Reverse Produk Impor

Pada tahap ini dilakukan *material reverse* dari produk asli *boogie wheel tank* AMX-13 yang dibuat melalui proses tempa, yaitu analisis produk dan material impor. Analisis produk dengan cara menggambarkan bentuk produk *boogie wheel* sebagai acuan pengembangan gambar prototipe. Sedangkan analisis material dilakukan dengan cara menganalisis komposisi kimia, pengujian kekerasan, kekuatan tarik serta dimensinya. Karakteristik material hasil analisis material *boogie wheel* digunakan sebagai acuan untuk melakukan pengembangan material. Hasil pengujian komposisi kimia dan sifat mekanis *boogie wheel* dapat dilihat pada Tabel 1 [5, 6].

Tabel 1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik Komponen Asli *Boogie Wheel* (% berat)

Al	Si	Cu	Mg	Zn	Fe, Mn, Ti, Cr, Ni	Total
88,39	0,045	2,45	1,75	6,9	Sisa	100
Kekerasan (HB)						
93						

Pengujian sifat mekanik terhadap komponen asli *boogie wheel* hanya dapat dilakukan untuk uji kekerasan, karena ketiadaan spesimen uji lainnya. Komposisi kimia material dari produk asli *boogie wheel tank* AMX-13 (Tabel 1) adalah jenis aluminium tempa kelas 7255 atau sekelas dengan paduan aluminium cor kelas 7100. Pengembangan material difokuskan kepada penelitian penggunaan material aluminium AC4C dan melakukan modifikasi komposisi kimia, yaitu setelah target komposisi tersebut tercapai dengan proses pengecoran logam, maka selanjutnya dilakukan proses perlakuan panas.

Penambahan maupun pengurangan kadar unsur pepadu, yaitu: unsur Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Silikon (Si), Seng (Zn), dan Tembaga (Cu) sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan sifat fisik yang dihasilkan [18]. Aluminium dipilih sebagai bahan teknik karena

memiliki kelebihan dalam beberapa hal, antara lain yaitu mempunyai berat jenis $2,7 \text{ g/cm}^3$ yang lebih rendah (kurang lebih sepertiga dari berat jenis baja), mempunyai ketahanan korosi alamiah yang baik, dan bila diberi proses perlakuan panas akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik [19]. Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium untuk mengubah sifat-sifatnya adalah proses *aging* yang secara alamiah akan menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih baik seiring dengan berjalannya waktu.

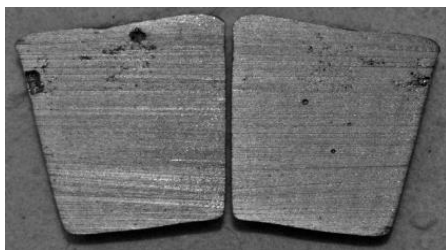
Peleburan dilakukan pada tungku penahan/*holding furnace* listrik dengan pemanas coil jenis *bail out* berkapasitas 200 kg dengan temperatur 700°C . Setelah logam mencair, selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan (*dies*). Prototipe yang dihasilkan terdiri dari tiga jenis prototipe yang berbeda komposisi kimianya.

Untuk menganalisis 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 AC4C. Sedangkan pengujian yang dilakukan langsung pada produk terdiri dari analisis pengaruh *degassing* dan variasi *dwelling time* terhadap jumlah gas terlarut dalam cairan aluminium, analisis komposisi kimia, pengujian kekerasan, kekuatan tarik, *elongation*, dan *impact strength*.

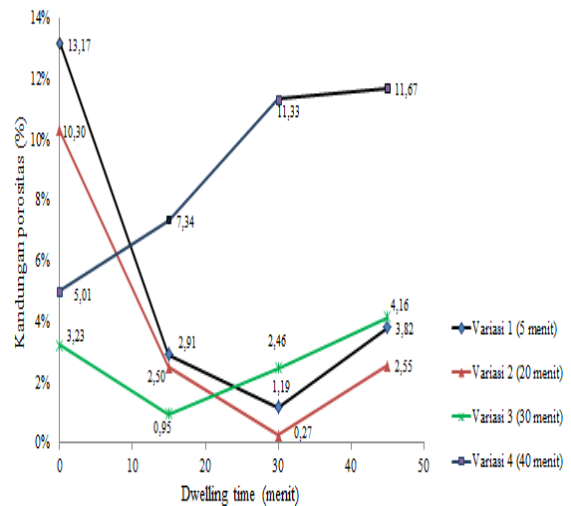
Hasil Pengujian

1. Pengaruh *Degassing* dan *Dwelling Time*

Degassing yaitu proses pengeluaran gas terlarut dalam aluminium cair dengan menambahkan gas *inert* yang dapat mengikat gas terlarut (oksigen atau hidrogen) keluar dari cairan. Sedangkan *Dwelling Time* adalah waktu cairan ‘diistirahatkan’ setelah proses *degassing*, bertujuan memberikan kesempatan kepada gas untuk keluar dari cairan. Pengaruh *degassing* dan variasi *dwelling time* terhadap jumlah gas terlarut dalam cairan aluminium pada suhu cairan 698°C, disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Berdasarkan hasil percobaan, ternyata proses *degassing* selama 20 menit dan *dwelling time* selama 30 menit akan menghilangkan sebagian besar gas terlarut dari cairan aluminium. Kurang atau lebih dari itu akan menunjukkan hasil yang sangat buruk. Oleh karena itu harus diusahakan suhu peleburan yang digunakan di bawah 700 °C.



Gambar 6. Pengaruh *Degassing* terhadap Jumlah Gas Terlarut dalam Cairan Aluminium. Pada Gambar adalah Proses *Degassing* Selama 30 Menit dengan Porositas Sebanyak 0,27%.



Gambar 7. Pengaruh Waktu *Rotary Degassing* dan *Dwelling Time* terhadap Prosentase Porositas

2. Pengujian Komposisi Kimia

Data yang diperoleh dari hasil pengujian komposisi kimia dengan menggunakan spektrometer ditunjukkan pada Tabel 2. Spesimen uji yang dihasilkan dari penelitian ini dibandingkan dengan Standar JIS AC4C produk *boogie wheel*. Hasil dari modifikasi beberapa kali perubahan komposisi kimia dengan perlakuan panas yang berbeda-beda, diperoleh sebuah gabungan antara komposisi kimia dan perlakuan yang memiliki sifat mekanis terbaik. Komposisi kimia prototipe yang memiliki sifat mekanis terbaik dapat dilihat pada Tabel 2 [6]. Berdasarkan hasil uji komposisi, terlihat komposisi kimia hasil uji Percobaan I masih belum sesuai untuk AC4C, terutama unsur Besi (Fe), Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Silikon (Si) dan Tembaga (Cu).

Percobaan II adalah modifikasi komposisi kimia pengujian 1 dan 2 dengan melakukan penambahan Zn dan Ti untuk meningkatkan kekuatan. Sedangkan komposisi kimia pada pengujian 3 bertujuan untuk mengetahui sifat fisik ingot AC4C.

Tabel 2. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Prototipe dengan Sifat Mekanik Terbaik

Unsur	Komposisi Bahan (%)					
	Percobaan I			Percobaan II		
	JIS AC4C	Ingot	Uji	Uji 1	Uji 2	Uji 3
Al	Sisa	92,696	89,720	92,016	91,945	94,971
Si	6,5-7,5	6,66	7,86	5,86	5,68	4,37
Fe	0,55 max	0,25	0,89	0,316	0,36	0,27
Zn	0,35 max	0,05	-	1-2,5	1-2,5	0,022
Cu	0,25 max	0,007	0,92	0,112	0,108	0,008
Mn	0,35 max	0,03	0,09	0,009	0,009	0,002
Mg	0,2-0,45	0,45	0,23	0,073	0,071	0,18
Ti	0,2 max	0,004	0,11	0,1-0,2	0,1-0,2	0,164
Cr	0,1 max	0,002	0,03	0,005	0,007	0,002
Ni	0,1 max	0,002	0,08	0,015	0,017	0,011

3. Pengujian Kekerasan

Data spesimen uji yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan pada proses pengecoran dan setelah dilakukan proses perlakuan panas ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Nilai Kekerasan Hasil Pengecoran (HB)

Percobaan I		Percobaan II		
JIS AC4C	Uji	Uji 1	Uji 2	Uji 3
55	85	52,3	54,0	53,3

Tabel 4. Nilai Kekerasan Setelah Perlakuan Panas (HB)

Perlakuan panas	Percobaan II		
	Uji 1	Uji 2	Uji 3
Aging dipercepat	64,4	87,7	56,6
Aging normal	58,6	71,4	54,3
Aging dalam tungku	51,6	63,3	51,9

Pada pengujian kekerasan Percobaan Pengecoran II, spesimen uji 2 menunjukkan peningkatan kekerasan setelah proses *solution treatment* dan *aging dipercepat*, hingga mencapai 87,7 BHN.

4. Pengujian Kekuatan Tarik

Data spesimen uji yang diperoleh dari hasil pengujian kekuatan tarik pada proses pengecoran dan setelah dilakukan proses perlakuan panas ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Nilai Kekuatan Tarik Hasil Pengecoran (σ , N/mm²)

Percobaan I	Percobaan II			
	JIS AC4C	Uji	Uji 1	Uji 2
150	168	162,2	161,7	127,9

Tabel 6. Nilai Kekuatan Tarik Setelah Perlakuan Panas (σ , N/mm²)

Perlakuan panas	Percobaan II		
	Uji 1	Uji 2	Uji 3
Aging dipercepat	181,01	242,37	188,4
Aging normal	187,93	203,9	180,6
Aging dalam tungku	168,98	210,7	172,7

Pada pengujian tarik hasil Percobaan Pengecoran II, spesimen uji 2 menunjukkan peningkatan kekuatan tarik setelah proses *solution treatment* dan *aging dipercepat*, yaitu hingga mencapai 242,37 N/mm².

5. Pengujian Elongation

Data spesimen uji yang diperoleh dari hasil pengujian *elongation* pada proses pengecoran dan setelah dilakukan proses perlakuan panas ditunjukkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Nilai *Elongation* Hasil Pengecoran (E,%)

Percobaan I		Percobaan II		
JIS AC4C	Uji	Uji 1	Uji 2	Uji 3
3	-	5,95	5,23	3,06

Tabel 8. Nilai *Elongation* Setelah Perlakuan Panas (E,%)

Perlakuan panas	Percobaan II		
	Uji 1	Uji 2	Uji 3
<i>Aging</i> dipercepat	12	8	7
<i>Aging</i> normal	16	14	6
<i>Aging</i> dalam tungku	8	8	5

Pada penghitungan perpanjangan spesimen akibat uji tarik, Percobaan Pengecoran II, spesimen uji 2 menunjukkan peningkatan panjang setelah proses *solution treatment* dan *aging* normal, yaitu hingga mencapai 14 %.

- Pengujian beban kejut (*impact strength*)
Data spesimen uji yang diperoleh dari hasil pengujian beban kejut (*impact strength*) pada proses perlakuan panas ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai *Impact Strength* Setelah Perlakuan Panas (E, kgf.m)

Perlakuan panas	Percobaan II		
	Uji 1	Uji 2	Uji 3
<i>Aging</i> dipercepat	12	8	7
<i>Aging</i> normal	16	14	6
<i>Aging</i> dalam tungku	8	8	5

Pengujian *impact strength* pada Percobaan Pengecoran II, spesimen uji 1 menunjukkan peningkatan ketahanan meredam beban kejut/*impact* setelah proses *solution treatment* dan *aging* normal, hingga mencapai 16 kgf.m, artinya spesimen mampu menyerap benturan yang terjadi di atas target.

Hasil Pembuatan Prototipe

Pada Percobaan I dan II dilakukan pembuatan prototipe *boogie wheel* dari material aluminium AC4C (Standar JIS). *Boogie wheel* adalah bagian roda yang mengalami kontak langsung dengan rantai pada sistem penggerak tank AMX-13. Oleh karena itu material yang digunakan harus memiliki sifat mekanik yang cukup tinggi untuk menahan segala beban yang terjadi pada *boogie wheel* [20].

Proses pengecoran yang dapat dijadikan acuan dalam pembuatan *boogie wheel* adalah sebagai berikut. Pertama-tama *dies*/cetakan logam dipanaskan menggunakan *burner*. Pada suhu 200°C, dilakukan *coating* dengan cara disemprotkan, sehingga terbentuk lapisan keramik yang mengkilap pada permukaan *dies*, untuk selanjutnya cetakan inti/*core* dipasang. Setelah suhu *dies* mencapai 380°C, kemudian dilakukan penuangan aluminium bersuhu 680°C, selama 7 detik. Ketinggian penuangan normal, artinya sedikit di atas ketinggian riser/*vent hole*. Penuangan dihentikan saat *vent hole* telah terisi cairan aluminium. Waktu penuangan diusahakan tidak melebihi 10 detik.

Tahap berikutnya adalah pemasangan plat *supporter* pada *boogie wheel*. Plat *supporter* adalah plat baja karbon rendah dengan ketebalan 3 mm, yang dibentuk sesuai kontur permukaan bagian luar *boogie wheel*, disambungkan dengan dikeling ke *boogie wheel*. Tujuannya adalah untuk menahan gesekan antara *tracklink* dan *boogie wheel*. Plat *supporter* dibentuk dengan cara dibubut menggunakan *punch* dan dilakukan secara perlahan supaya membentuk kontur. Setelah itu, kemudian dilakukan pembuatan lubang untuk memasang pasak/keling pada plat *supporter* dan *boogie wheel*-nya, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Prototipe *Boogie Wheel*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Proses pengecoran yang diikuti perlakuan panas dapat menjadi alternatif proses tempa untuk membuat *boogie wheel tank* AMX-13. Material yang digunakan adalah aluminium AC4C (JIS) dengan modifikasi penambahan Zn dan Ti. Semakin banyak Ti pada komposisi Zn yang sama maka kekuatan tarik pada kondisi setelah perlakuan panas akan meningkat. Proses perlakuan panas menghasilkan *boogie wheel* yang mempunyai sifat mekanis dengan kekerasan maksimal 87,7 HB (target >85 HB) kekuatan tarik 242,3 N/mm² (target >270 N/mm²), *elongation* 8% (target >5%), dan pengujian beban kejut/*impact* 8 kgf.m (target >5 kgf.m). Nilai-nilai sifat mekanik material tersebut memenuhi rentang nilai Standar Material Aluminium JIS AC4C, kecuali kekuatan tarik. Proses perlakuan panas yang paling sesuai adalah *Solid Solution Treatment* yang diikuti *rapid cooling*, dilanjutkan *artificial aging* dengan *rapid cooling*.

Saran

1. Banyaknya *defect* akibat gas setelah proses *casting* dan toleransi yang dianggap aman terhadap produk *boogie wheel* belum diuji, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan yang khusus melihat *defect* dan ambang batas keberterimaan produk *casting*.
2. Pengembangan lanjutan perlu dilakukan terhadap komposisi kimia yang lebih tepat dan proses *heat treatment* yang sesuai agar mendapatkan kekuatan sesuai target.
3. Perlu penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk pembuatan *boogie wheel* untuk jenis tank lainnya. Disamping itu untuk uji pakai di lapangan, saat ini masih memerlukan penelitian karet peredam yang berfungsi untuk mengurangi hentakan antara *boogie wheel* dan rantai (*tracklink*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM/MIDC) Kementerian Perindustrian yang telah memungkinkan dilakukannya penelitian ini; *Expert judgements*, yaitu: Bp. Abdul Malik, Bp. Edy Suyanto, Bp. Ronny; serta seluruh team

teknis dan teknisi kegiatan litbang pembuatan *boogie wheel* DIPA BBLM Tahun 2018-2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sri Bimo Pratomo, Hafid, Husen Taufiq, et al. 2016. "Penelitian dan Pengembangan Tapak Rantai Kendaraan Tempur Tank Jenis *Scorpion Double Pin* dan AMX Sebagai Penelitian Berkelanjutan Untuk Kemandirian Hankam Nasional", Prosiding *Workshop* Hasil Litbang Unggulan Kementerian Perindustrian, ISSN: 230-2294-9-772303-229402, Kementerian Perindustrian, Jakarta, Hal. 29.
- [2] Rudi Kurniawan. 2017. "Pemberdayaan Postur Satuan Kaveleri TNI-AD Dalam Pelaksanaan Fungsi Penggempur Di Wilayah Kodam III/Siliwangi (Studi Kasus di Batalyon Kaveleri 4/Tank)", Jurnal Prodi Strategi dan Kampanye Militer, Vol.3 No.2 Agustus 2017, Universitas Pertahanan, Jakarta. Hal. 3.
- [3] Prasto Prabowo. 2014. "Mengenal Tank Tempur TNI-AD dan Korps Marinir TNI-AL", Diakses satu harapan.com, 10 Mei 2014.
- [4] Rangga B.S. 2018. "Intip Langsung AMX-13 Retrofit TNI-AD, Tank Tua Yang Masih Perkasa", Diakses dari Angkasareview.com, 9 Juni 2018.
- [5] BBLM. 2018. "Pembuatan Prototipe Roda/*Boogie Wheel* Untuk Tank AMX Dalam Rangka Mendukung Kemandirian Pertahanan", Laporan Akhir Kegiatan Litbang TA 2018, Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Kementerian Perindustrian, Bandung, Hal.4.
- [6] BBLM. 2019. "Penyempurnaan dan Uji Lapangan Prototipe Roda/*Boogie Wheel* Tank AMX Dalam Rangka Mendukung Kemandirian Pertahanan", Laporan Akhir Kegiatan Litbang TA 2019, Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Kementerian Perindustrian, Bandung, Hal. 2.
- [7] Hafid, Sri Bimo Pratomo. 2017. "The Implementation of The Track Link Tank Manufacturing for a Light Type Army Tank as A Substitution Imported", *Proceeding The 15th International Conference on Quality in Research (QiR)*, Bali: 24-27 Juli 2017, ISSN: 144-1284,

- Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, Hal.570,571.
- [8] Ian Montratama. 2014. "Strategi Optimasi Pengadaan Sarana Pertahanan Bagi Industri Pertahanan Indonesia", Jurnal Pertahanan, Vol.4 No.3 Desember 2014, Universitas Pertahanan, Jakarta, Hal. 79, 81.
- [9] Ally Ramadhanil, R Djoko Andriyono. 2016. "Rancang Bangun Sistem Transmisi Roda Gigi Miring Pada Alat Pemutar Penegang Rantai Tank AMX-13" Jurnal *Transmisi*, Vol. 12 Edisi 2, Universitas Merdeka, Malang, Hal. 202.
- [10] Hafid, Sri Bimo Pratomo. 2014. "Pengembangan Teknologi Proses Pembuatan Komponen Track Link Tank Scorpion Untuk Menanggulangi Cacat Cor" Jurnal Riset Industri (JRI), Vol.8 No.1 April 2014, ISSN: 1978-5852, Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri (BPKIMI), Kementerian Perindustrian, Jakarta, Hal.1,2.
- [11] Hafid, Sri Bimo Pratomo.2016. "Analisis Penentuan Harga Pokok Produksi Pembuatan Komponen *Track Link* Substitusi Impor (Studi Kasus: di Workshop Pengecoran MIDC)", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, ISSN: 2355-925X, FTI-USAKTI, Jakarta, Hal. 39.
- [12] Edy Suyanto. 2020. "Profil Perusahaan Indo Pulley Perkasa (IPP)", PT. Indo Pulley Perkasa, Depok, Hal. 1.
- [13] Tatang Taryaman, Roslina, Hafid. 2005. "Analisis Cacat Coran Pada Produk *Fly Wheel* Hasil Proses Pengecoran Menggunakan Cetakan Pasir", Jurnal Metal Indonesia, Vol.027/20, ISSN: 0126-3463, Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Bandung, Hal. 44.
- [14] Hafid, Sri Bimo Pratomo. 2013. "Pembuatan Komponen Rantai Tank (*Track Link*) Scorpion Dari Baja Cor Paduan CrMr Melalui Proses Pengecoran", Jurnal Metal Indonesia, Vol.35 No.1 Juni 2013, ISSN: 0126-3463, Metal Industries Development Centre (MIDC), Bandung. Hal. 1.
- [15] Hafid. 2014. "Analisis Fasilitas Produksi Pada Industri Pengecoran Logam *Ferrous* Sebagai Upaya Peningkatan Daya Saing Perusahaan", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri 2014, ISSN: 2355-925X, FTI-USAKTI, Jakarta, Hal.019-1.
- [16] Rochim Suratman. 2015. "Kompetensi SDM Industri Pengecoran", Workshop Pengembangan Industri Pengecoran Untuk Material Maju, Tgl. 2 Oktober 2005 di Bandung, Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Kementerian Perindustrian, Bandung. Hal. V-8 s/d V-14.
- [17] Ahmad T.J dan Waspodo. 2010. "Peningkatan Kekuatan Mekanik dari Besi Cor Melalui Paduan dan Proses Perlakuan Panas *Austempering*", Jurnal Metal Indonesia, Vol. 32 No.2, ISSN: 0126-3463, Balai Besar Logam Mesin (BBLM), Bandung, Hal. 21.
- [18] Abdul Wahid, Hary Setiawan, Rudy S.R. 2009. "Analisis Cacat Coran Pada Produk Motor Holder Hasil Proses *Die Casting*" Jurnal Metal Indonesia, Vol.31 No.2, ISSN: 0126-3463, Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Bandung. Hal. 107,108.
- [19] R. Bagus Sujana Majanasastra. 2015. "Pengaruh Variabel Waktu *Aging (Aging Heat Treatment)* Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan dan Struktur Mikro Kepala Piston Sepeda Motor Honda Vario", Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol.3 No.2 Agustus 2015, Universitas Islam Bekasi, Hal. 88,89.
- [20] M. Iqbal, Purbaja Adi Putra, Greida. 2019. "Pengaruh Variasi Waktu *Holding* Proses *Artificial Aging* Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketahanan Impak Paduan Al-Si", Jurnal Metal Indonesia, Vol. 41 No. 2 Desember 2019, p-ISSN:0126-3463 ; e-ISSN:2548-673X, Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Kementerian Perindustrian, Bandung, 70.