KARAKTERISTIK *BRACKET TORQUE ROD* MATERIAL ALUMUNIMUM PADU AC4CH

Bracket Torque Rod Characteristics Of Alumunium Alloy AC4CH Material

Djoko W. Karmiadiji¹ dan Rizky Erfiansyah Saputra Wijaya²

¹B2TKS-BPPT, Kawasan PUSPIPTEK Setu-Serpong, Tangerang Selatan

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Univ. Pancasila

Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan

email: dkarmiadiji@rocketmail.com

Diterima: 12 Mei 2017, Direvisi: 23 Mei 2017, Disetujui: 29 Mei 2017

Abstrak

Lokalisasi komponen di Indonesia meningkat setelah tahun 2004 muncul Peraturan Pemerintah No.41 tahun 2013 mengenai program lokalisasi komponen sehingga perusahaan ATPM diwajibkan membuat komponen lokal sebesar 80% sebagai syarat produksi kendaraan LCGC. Akan tetapi, pengembangan kendaraan bermotor atau industri otomotif pada umumnya mengalami berbagai kendala diantaranya belum seluruh industri pendukung seperti bahan baku dan komponen dibuat dalam negeri. Penelitian dilaksanakan melalui analisis kimia AC4CH dengan menggunakan alat spectrometer spektris, uji kekerasan, uji metalographi, dan uji tarik dengan metode ASTM E8, serta uji fatik dengan mesin uji *Servo Hydraulic Testing Machine* 63 kN. Pembuatan spesimen dilakukan terhadap material yang telah diproses menjadi produk *bracket torque rod* dengan perlakuan panas T6. Specimen uji disiapkan sesuai dengan standar yang diacu dan dimensi produk *bracket torque rod*. Dengan membandingkan material AC4C dan AC4CH melalui standard JIS H 5202 dan analisis komposisi kimia serta karakteristik mekanis, material AC4CH bisa digunakan sebagai material pengganti AC4C untuk digunakan pada pembuatan produk *bracket torque rod* dalam negeri.

Kata kunci: material AC4CH, *bracket torque rod*, komposisi kimia, karakteristik mekanis.

Abstract

Localization of components in Indonesia increased after 2004 Government Regulation No.41 year 2013 established on component localization program so that ATPM company obliged to make local component as much as 80% as requirement of LCGC vehicle production. However, the development of motor vehicles or the automotive industry in general is experiencing various obstacles such as not yet all supporting industries such as raw materials and components made in the country. The research was performed through chemical analysis of AC4CH by using spectrometer, hardness test, metalography test, and tensile test with ASTM E8 method, and also fatigue test using 63 kN servo hydraulic testing machine. Specimen preparation is carried out on material that has been processed into a torque rod bracket product with T6 heat treatment. The test specimens were prepared according to the standards referred to and the product dimensions of the torque rod bracket. By comparing AC4C and AC4CH materials through the JIS H 5202 standard and chemical composition analysis and also mechanical characteristics, AC4CH material can be used as AC4C replacement material for used in the manufacture of domestic torque rod bracket products.

Keywords: AC4CH material, torque rod bracket, chemical composition, mechanical characteristics.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Era globalisasi semakin menambah ketatnya persaingan antar perusahaan atau industri untuk menghasilkan produk atau jasa yang sesuai dengan harapan dan kebutuhan konsumen. Salah satu faktor yang mendorong terjadinya

perubahan yang cepat dalam industri otomotif adalah kebijakan lokalisasi komponen.

Lokalisasi komponen di Indonesia meningkat setelah tahun 2004 muncul Peraturan Pemerintah No.41 tahun 2013 mengenai program lokalisasi komponen sehingga perusahaan ATPM diwajibkan membuat komponen lokal sebesar 80% sebagai syarat produksi kendaraan LCGC. Akan tetapi

pengembangan kendaraan bermotor atau industri otomotif pada umumnya mengalami berbagai kendala diantaranya belum seluruhnya industri pendukung seperti bahan baku dan komponen dibuat didalam negeri. Industri kendaraan bermotor baik roda dua maupun roda empat harus didukung oleh industri dalam negeri, sehingga tidak ada lagi komponen dan bahan baku impor dari luar (Saputra, 2014). Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan melakukan suatu perubahan terhadap bahan baku suatu komponen. Perubahan yang dapat dilakukan industri otomotif adalah dengan mengganti material yang digunakan. Salah satu contoh komponen otomotif yang dilokalisasi pembuatannya adalah *bracket Torque rod*. *Bracket torque rod* merupakan salah satu komponen kendaraan roda empat yang berfungsi sebagai penopang atau dudukan dari *assembling engine unit* sehingga *bracket torque* dikenai beban statis (*static load*). Tidak hanya berfungsi sebagai dudukan *assembling engine unit*, *bracket torque rod* juga terhubung dengan *engine support module* dalam satu poros dimana gaya torsi bekerja disana. Jadi berdasarkan fungsinya, *bracket torque rod* menerima beban statis dan dinamis sehingga sifat mekanik material sangat dibutuhkan agar *bracket torque rod* tidak mengalami kegagalan fungsi.

Berdasarkan aplikasinya, *bracket torque rod* diklasifikasikan sebagai *important safety part* dengan *rank HA*, yaitu komponen (*part*) yang jika mengalami kegagalan fungsi akan menyebabkan kecelakaan serius walaupun ada tanda-tanda awal. Karena karakteristik tersebut maka material komponen ini haruslah memiliki sifat mekanik yang baik, sesuai pembebanan yang aplikasi penggunaanya vital.

Bracket torque rod dibentuk melalui proses *gravity die casting*. Untuk meningkatkan sifat mekanik material maka dilakukan proses *heat treatment T6* (Suardi, 2011). Perlakuan panas diberikan untuk mendapatkan sifat mekanik material yang dipersyaratkan, sifat mekanik tersebut adalah *strength (tensile, yield, compression)*, dan *durability (hardness dan fatigue strength)*. Sifat-Sifat mekanik material tersebut telah ditetapkan standarnya oleh desainer agar produk tidak mengalami kegagalan fungsi pada aplikasinya.

Material yang digunakan dalam proses manufaktur *bracket torque rod* (BTR) di Jepang adalah alumunium padu AC4C-T6 yang merupakan paduan alumunium Al-Si7Mg (JIS H 5202, 2006). Karena ketidaktersediaan material ini di produsen yang membuat produk di Indonesia, maka dicari

material alternatif penggantinya yang mendekati spesifikasi material AC4C-T6. Paduan alumunium padu Al-Si7Mg yang tersedia dan umum digunakan di Indonesia adalah material AC4CH-T6 yang dipilih sebagai material baku lokalisasi komponen *bracket torque rod*. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa mengenai sifat mekanik material dan melalui penelitian ini dianalisis sifat material produk tersebut melalui pengujian mekanik dan *durability* terhadap beban dinamis (*fatigue*), untuk mengetahui apakah sifat mekanik pada produk tersebut sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan desainer.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini mendapatkan nilai-nilai kuantitatif dan kualitatif sebagai nilai standar komponen produk dalam negeri yang dapat menjadi referensi penyusunan Standar Nasional Indonesia produk komponen otomotif khususnya *bracket torque rod*. Oleh sebab itu kegiatan penelitian yang dilakukan yaitu:

- Mengetahui dan menganalisa komposisi material AC4CH yang digunakan sebagai material baku pembuatan *bracket torque rod*.
- Mengetahui dan menganalisa hasil pengujian sifat mekanik material produk *bracket torque rod* di Indonesia.
- Mengetahui dan menganalisis kegagalan pada struktur yang diakibatkan tegangan dinamis yang berfluktuasi melalui pengujian fatik.
- Menganalisis pembebanan statis pada *bracket torque rod* melalui simulasi *software*.
- Menganalisis perbandingan sifat mekanik material yang tidak diberi perlakuan panas T6 dan yang diberi perlakuan panas T6.
- Menganalisis dan menentukan apakah spesifikasi produk uji sudah sesuai dengan apa yang dipersyaratkan desainer melalui sederetan pengujian yang dilakukan

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bracket torque rod merupakan salah satu komponen otomotif yang digunakan pada kendaraan roda 4 yang terbuat dari paduan alumunium (*alumunium alloy*), karena fungsinya yang vital maka diperlukan sifat mekanik yang kuat dan ulet. Pada aplikasinya *bracket torque rod* digunakan sebagai penopang atau dudukan dari *assembling engine unit* sehingga *bracket torque* dikenai beban statis (*static load*). Tidak

hanya berfungsi sebagaiudukan *assembling engine unit*, *bracket torque rod* juga terhubung dengan *engine support module* yang menopang pada bagian depan kemudi mobil, dimana gaya torsi bekerja disana. Aplikasi *bracket torque rod* pada mobil bisa dilihat pada gambar 1.

Berdasarkan fungsinya, *bracket torque rod* menerima beban statik dan dinamis sehingga ketangguhan dan kekuatan material sangat dibutuhkan agar *bracket torque rod* tidak mengalami kegagalan fungsi.

Gambar 1. *Bracket torque rod* dan komponen rakitannya.

Bracket torque rod dibuat melalui proses pengecoran gravitasi atau biasa disebut dengan *gravity die casting*. *Gravity die casting* adalah proses pengecoran yang memanfaatkan gaya gravitasi untuk menuangkan molten aluminium ke dalam cetakan. Metode ini berbeda dengan *pressure die casting*, dimana tidak dipergunakan tekanan kecuali tekanan yang berasal dari tinggi cairan logam dalam cetakan.

Hasil pengecoran gravitasi aluminium mudah mengalami perubahan dimensi, menurunnya kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi. Untuk mengatasi hal tersebut serta untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan, hasil cor diproses termal dengan satu pemanasan atau lebih yang diikuti pendinginan. Dalam proses manufakturnya, *bracket torque rod* diberi perlakuan panas T6 dengan temperatur *heat solution* 538°C dengan waktu tahan selama 6 jam, kemudian dilanjutkan dengan *quenching* sampai 75°C dan dipanaskan lagi ke temperature 154°C dan ditahan selama 4,5 jam, kemudian didinginkan secara lambat dengan udara (Anzip & Suhariyanto, 2013).

Alumunium padu adalah material campuran yang mempunyai beragam sifat-sifat logam, terdiri dari dua atau lebih unsur-unsur, dimana sebagai unsur utama campuran adalah aluminium. Alumunium padu memiliki sifat mekanis yang lebih baik dengan peningkatan kekuatan mekanik terhadap penambahan Cu,

Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, secara satu persatu atau bersama-sama.

Paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu *aluminium wright alloy* (lembaran) dan *aluminium casting alloy* (batang cor). Aluminium (99,99%) memiliki berat jenis sebesar 2,7 g/cm³, densitas 2,685 kg/m³, dan titik leburnya pada suhu 660°C, aluminium memiliki *strength to weight* ratio yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium dari permukaan aluminium (Mae, 2009). Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, serta stabil (tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya) sehingga melindungi bagian dalam struktur materialnya.

Jenis dan pengaruh unsur-unsur paduan terhadap perbaikan sifat aluminium antara lain (Anzip & Suhariyanto, 2013):

- Silikon (Si) - Dengan atau tanpa paduan lainnya silikon mempunyai ketahanan terhadap korosi. Bila bersama aluminium ia akan mempunyai kekuatan yang tinggi setelah perlakuan panas, tetapi silikon mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang jelek, selain itu juga mempunyai ketahanan koefisien panas yang rendah.
- Tembaga (Cu) - Dengan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan karena tembaga bisa memperhalus struktur butir dan akan mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu tempa, keuletan yang baik dan mudah dibentuk.
- Magnesium (Mg) - Dengan unsur magnesium pada aluminium akan mempunyai ketahanan korosi dan kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu las serta kekuatannya cukup.
- Nikel (Ni) - Dengan unsur nikel aluminium dapat bekerja pada temperature tinggi, misalnya piston dan silinder head untuk motor.
- Mangan (Mn) - Dengan unsur mangan aluminium sangat mudah dibentuk, tahan korosi baik, sifat dan mampu lasnya baik.
- Seng (Zn) - Umumnya seng ditambahkan bersama-sama dengan unsur tembaga dalam prosentase kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas, juga kemampuan mesin.
- Ferro (Fe) - Penambahan ferro dimaksud untuk mengurangi penyusutan, tapi penambahan ferro (Fe) yang besar akan menyebabkan struktur perubahanbutir yang kasar, namun hal ini dapat diperbaiki dengan Mg atau Cr.

- Titanium (Ti) - Penambahan titanium pada aluminium dimaksud untuk mendapat struktur butir yang halus. Biasanya penambahan bersama-sama dengan Cr dalam prosentase 0,1%, titanium juga dapat meningkatkan mampu mesin.

Adapun sifat-sifat mekanik dari aluminium padu adalah sebagai berikut (Anzip & Suhariyanto, 2013; Iswanto, 2014):

- Kekuatan tarik – Tegangan tarik adalah besar tegangan yang didapatkan ketika dilakukan pengujian tarik. Kekuatan tarik ditunjukkan oleh nilai tertinggi dari tegangan pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian, dan biasanya terjadi ketika terjadinya *necking*. Kekuatan tarik pada aluminium murni pada berbagai perlakuan umumnya sangat rendah, yaitu sekitar 90 MPa, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium perlu dipadukan, contoh aluminium padu 7075 memiliki kekuatan tarik hingga 600 MPa.
- Kekerasan - Kekerasan gabungan dari berbagai sifat yang terdapat dalam suatu bahan yang mencegah terjadinya deformasi terhadap bahan tersebut ketika menerima beban. Kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh plastisitas, visko-elastisitas, kekuatan tarik, ductility, dan sebagainya. Kekerasan bahan aluminium murni sekitar 20 skala Brinell, sehingga dengan sedikit gaya saja dapat mengubah bentuk logam. Aluminium dengan 4,4% Cu dan diperlakukan quenching, lalu disimpan pada temperatur tinggi dapat memiliki tingkat kekerasan Brinell sebesar 160.
- Ductility (kelenturan) - Ductility didefinisikan sebagai sifat mekanis dari suatu bahan seberapa jauh bahan dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadinya retakan. Dalam suatu pengujian tarik, ductility ditunjukkan dengan bentuk *necking* dan *elongasi* adalah seberapa besar pertambahan panjang suatu bahan ketika dilakukan uji kekuatan tarik. *Elongasi* ditulis dalam persentase pertambahan panjang per panjang awal bahan yang diujikan.
- Recyclability (daya untuk didaur ulang) - Aluminium adalah 100% bahan yang dapat didaur ulang tanpa penurunan dari kualitas awalnya, peleburannya memerlukan sedikit energi, hanya sekitar 5% dari energi yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang pada awalnya diperlukan dalam proses daur ulang.
- Reflectivity (daya pemantulan) - Aluminium adalah reflektor yang baik dari cahaya serta

panas, dan dengan bobot yang ringan, membuatnya ideal untuk bahan reflektor misalnya atap.

Paduan aluminium dapat ditingkatkan kekerasannya dengan cara diberi perlakuan panas. Sebagai contoh paduan aluminium Al-Si-Mg diberi perlakuan panas T5 (waktu tahan 4 jam dengan suhu yang bervariasi, yaitu 25; 125; 180; 200 dan 220 °C). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa, kekerasan semula adalah 92 BHN. Dengan suhu pemanasan 180 °C, kekerasannya menjadi 117 BHN, dan dengan suhu pemanasan 200°C kekerasannya menjadi 226 BHN.

Kekerasan juga dapat ditingkatkan dengan perlakuan panas T6. Sebagai contoh, paduan Al-SiMg dengan nomor seri AC9B untuk bahan piston, kekerasannya meningkat karena perlakuan panas T6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi yang dapat dicapai adalah sebesar 75 HRB, yaitu ketika diberi perlakuan panas dengan temperatur tahan 200°C dan dengan waktu tahan 4 jam. Hasil cor (*as-cast*) aluminium mudah mengalami perubahan dimensi, menurunnya kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi. Untuk mengatasi hal tersebut serta untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan, hasil cor diproses termal dengan satu pemanasan atau lebih yang diikuti pendinginan. Proses T6 dilakukan dengan temperatur *heat solution* 538°C dengan waktu tahan selama 6 jam, kemudian dilanjutkan dengan *quenching* sampai 75°C dan dipanaskan lagi ke temperature 154°C dan ditahan selama 4,5 jam, kemudian didinginkan secara lambat dengan udara (Paryono, 2011).

Pemilihan paduan aluminium harus memiliki kategori ketahanan terhadap umur lelah. Klasifikasi ketahanan lelah aluminium padu mempunyai sifat tahan terhadap retak awal dan penjarangan retak. Karakteristik umur lelah aluminium padu ini dapat diyakinkan melalui pengujian material dalam bentuk benda uji standard ataupun pengujian komponen. Tujuan pengujian ini untuk memperoleh informasi yang akurat perilaku material uji sehingga dapat dipertanggung jawabkan batas-batas kekuatannya untuk meyakinkan perancang dalam pemilihan material dengan pertimbangan utama faktor keamanan dan nilai ekonomisnya.

Kelelahan material adalah kelelahan mekanis akibat sejumlah besar pemakaian beban siklus dimana amplitudo puncaknya melampaui batas elastisitas material tersebut. Siklus pembebanan tunggal yang amplitudonya jauh dibawah kekuatan statik maksimum, tidak

akan merusak material atau stukturanya. Tetapi jika beban tersebut diulang beberapa kali, siklus beban ini dapat mengakibatkan kerusakan lelah yang diawali retak yang kemudian menjalar sehingga mengakibatkan kegagalan.

Sifat statik suatu material diperoleh dengan pengujian beban monotonik yaitu benda uji diberi beban tarik statik sehingga terjadi deformasi dan kemudian patah. Pengujian ini dapat dilakukan sesuai dengan metode pengujian tarik statik yang telah distandardisasi, misalnya SNI, ASTM atau JIS. Dalam pengujian ini pemasangan benda uji diatur sedemikian rupa sehingga tegangan awal yang terjadi akibat pemegang benda uji dapat dihindari.

Dari sudut pandang mekanika material, pendekatan yang sangat penting terhadap perilaku material didasarkan pada analisis tegangan dan regangan. Kondisi regangan plastis merupakan penyebab utama terjadinya kerusakan lelah dimana siklus pembebanan pada daerah plastis ini mengakibatkan perubahan struktur mikro suatu material yang selanjutnya terjadi keretakan.

Analisis data pengujian dapat dipertanggung jawabkan jika data hasil pengujian didapat dari pemilihan benda uji yang dilakukan secara random atau mewakili beberapa populasi tertentu dengan kondisi dan persyaratan yang spesifik. Analisis ini diperlukan untuk mendapatkan karakteristik material komponen atau memprediksi perilaku material yang sama pada produk yang akan datang.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan mengikuti prosedur dengan tahapan-tahapan antara lain melakukan studi literature yang menyangkut karakteristik material AC4CH (Wang, 2004; Nakayama, 2011) untuk dijadikan spesifikasi produk, dan merancang teknis pengujian yang dibutuhkan sesuai dengan persyaratan yang diinginkan oleh desainer. Selanjutnya menyiapkan bahan pengujian berupa material yang telah diproses menjadi produk *bracket torque rod* yang telah diberi perlakuan panas T6. Specimen uji disiapkan sesuai dengan standar yang diacu pada uji statis dan dimensi produk *bracket torque rod* pada uji dinamis.

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan menganalisis komposisi kimia material benda uji (AC4CH) dengan menggunakan alat analisis kimia logam spectrometer spektris (gambar 2). Selanjutnya dilakukan uji kekerasan benda uji dengan menggunakan mesin uji kekerasan

Rockwell Mitutoyo, dimana benda uji, lokasi uji dan mesin ujinya ditunjukkan pada gambar 3. Untuk mengetahui dan menganalisis struktur material specimen uji digunakan uji metalographi dengan alat uji utamanya digunakan mesin uji Olympus BX51M yang didukung oleh mesin poles untuk pengerjaan specimennya seperti ditunjukkan pada gambar 4.

Gambar 2 Mesin uji komposisi material.

Gambar 3 Spesimen dan mesin uji *hardness*.

Gambar 4 Mesin uji metalography dan specimen.

Gambar 5 Spesimen dan mesin uji tarik.

Untuk mendapatkan sifat mekanis material, dilakukan pengujian tarik statis dengan mesin uji tarik Shimadzu AGS-X, kapasitas 10 kN yang sudah diset dengan metode uji yang digunakan yaitu ASTM E8 (2009). Benda uji dengan dimensi sesuai standar dan mesin uji tariknya ditunjukkan pada gambar 5.

Gambar 6 Komponen uji, jig dan mesin uji statik.

Gambar 7 Servo hydraulic testing machine

Selain karakteristik mekanis material yang digunakan untuk komponen *bracket torque rod* diteliti melalui pengujian, komponen itu sendiri perlu diuji statis maupun dinamis untuk dianalisis apakah kekuatan operasi komponen dapat memenuhi standar desain. Pengujian statik komponen dilakukan menggunakan mesin uji HUNG-TA, Model HT-9102 (Floor Standing Type), kapasitas 100 kN. Desain pembebanan pada komponen termasuk jig dan mesin uji ditunjukkan pada gambar 6. Arah pembebanan yang sama pada komponen uji dilakukan juga pada uji fatik, dimana mesin uji fatik yang digunakan adalah Servo Hydraulic Testing Machine 63 kN seperti ditunjukkan pada gambar 7.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Material AC4C dan AC4CH merupakan paduan aluminium alloy Al-Si7Mg yang banyak sekali digunakan dalam proses manufacturing komponen otomotif khususnya aluminium gravity die casting. Bracket torque rod yang merupakan object utama dalam penelitian ini merupakan salah satu komponen otomotif yang didesign menggunakan material baku paduan aluminium alloy Al-Si7Mg AC4C. Karena ketidaktersediaan material AC4C di produsen yang membuat produk ini di Indonesia, maka AC4CH dipilih sebagai material penggantinya karena spesifikasinya mendekati spesifikasi material AC4C. Berdasarkan Japanese Industrial Standard (JIS) H 5202, perbandingan komposisi material AC4C dan AC4CH ditampilkan dalam tabel 1.

Hasil uji komposisi kimia material AC4CH yang digunakan sebagai material baku pembuatan *bracket torque rod* ditampilkan pada table 2 dengan menggunakan mesin uji spectrometer yang dilakukan sebelum proses pengecoran (molten) dan setelah proses *heat*

treatment (T6) (produk *casting*). Sebelum proses pengecoran material AC4CH masih dalam bentuk *molten metal* yang dituang pada cetakan uji komposisi kimia, sedangkan setelah proses Heat Treatment juga diuji komposisi materialnya, sample uji sudah dalam bentuk produk. Pengujian part setelah proses heat treatment dibuat dalam 2 varian pengujian, yaitu after proses solution dan after aging.

Dari hasil pengujian komposisi material dapat disimpulkan bahwa komposisi material benda uji (*molten*) masih dalam range standard material AC4CH yang dipersyaratkan desainer. Berdasarkan tabel 2 tidak ada perbedaan komposisi yang signifikan antara sample uji sebelum dan sesudah proses *heat treatment*, sehingga membuktikan bahwa tidak ada perubahan komposisi kimia yang signifikan setelah material AC4CH diberi perlakuan panas. Hanya saja terdapat peningkatan persentase

yang signifikan pada material silikon setelah sample uji diberi perlakuan panas.

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat gambaran mikrostruktur dari produk uji, apakah sesuai dengan standar drawing spesifikasi produk atau tidak. Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan bantuan alat mikroskop optik digital dengan perbesaran bisa 50X, 100X, dan 200x. Gambar 8 menunjukkan hasil analisis pengujian mikrostruktur terhadap produk uji sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam drawing spesifikasi. Pada standar mikrostruktur AC4CH mempersyaratkan bentuk silikon eutektik yang halus dan berbentuk sferoid, persyaratan tersebut bisa kita lihat pada gambar hasil pengujian mikrostruktur produk uji. Dari hasil pengujian *bracket torque rod* tersebut dapat disimpulkan sesuai dengan standar secara mikrostruktur.

Tabel 1 Komposisi kimia AC4C dan AC4CH sesuai standar JIS H 5202.

	Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Sn	Ti	Pb	Cr
AC4C	Al-Si7Mg	6,5-7,5	0,4 Max	0,25 Max	0,35 Max	0,25-0,45	0,1 Max	0,35 Max	0,05 Max	0,2 Max	0,1 Max	0,1 Max
AC4CH	Al-Si7Mg	6,5-7,5	0,17 Max	0,2 Max	0,1 Max	0,3-0,45	0,05 Max	0,1 Max	0,05 Max	0,2 Max	0,05 Max	0,05 Max

Pengujian hardness dilakukan pada 2 titik berbeda (A dan B) pada masing-masing specimen uji yang berjumlah 5 sample. Sample yang digunakan merupakan produk jadi (*finish good*) dari bracket torque rod yang kemudian

dibentuk sesuai dengan dimensi benda uji yang dipersyaratkan desainer dalam spesifikasi gambar desain. Spesimen uji kekerasan ini digunakan juga untuk pengujian tarik. Gambar 9 adalah specimen dan titik lokasi uji kekerasan,

Tabel 2 Hasil uji komposisi kimia AC4CH

Composition (%)												Spesifikasi	Keterangan	
Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr	Sr			
01 Max	0,25- 0,45	6,5- 7,5	0,2 Max	0,1 Max	0,05 Max	0,1 Max	0,05 Max	0,05 Max	0,2 Max	0,05 Max	60-200 PPM	AC4CH	KOMP.MOLTEN	
0,017	0,342	7.145	0,145	0,1528	0,000	0,007	0,01	0,02	0,166	0,02	0,00013			
0,0182	0,342	7,345	0,145	0,1528	0,000	0,0073	0,01	0,0186	0,166	0,02	0,00014	AC4CH	After Proses Solution	Sample 1
0,0183	0,342	7,555	0,147	0,1526	0,000	0,0072	0,01	0,0187	0,164	0,02	0,00013	AC4CH		Sample 2
0,0182	0,342	7,342	0,145	0,1524	0,000	0,0074	0,01	0,0188	0,166	0,02	0,00013	AC4CH		Sample 3
0,0172	0,345	7,545	0,145	0,1533	0,000	0,0073	0,01	0,0188	0,166	0,02	0,00014	AC4CH	After Aging	Sample 1
0,018	0,346	7,555	0,148	0,1527	0,000	0,0072	0,01	0,0188	0,164	0,02	0,00015	AC4CH		Sample 2
0,0178	0,347	7,542	0,147	0,1524	0,000	0,0074	0,01	0,0188	0,166	0,02	0,00017	AC4CH		Sample 3

sedangkan table 3 hasil uji kekerasan. Nilai rata-rata kekerasan pada sampel uji masuk dalam standard nilai kekerasan yang dipersyaratkan dalam spesifikasi gambar desain. Rata-Rata nilai

kekerasan sampel uji pada titik A adalah 49,24 HRB dan pada titik B sebesar 50,72 HRB, dengan nilai kekerasan tertinggi pada point 52,9 HRB dan nilai kekerasan terendah sebesar 46,2 HRB.

Gambar 8 Perbandingan mikrostruktur standar AC4CH dan hasil pengujian (200x).

Pengujian tarik dilakukan dengan mesin Shimadzu, dimana spesimen uji didapat dari hasil pembentukan melalui proses machining dari produk uji. Sample uji tarik dibuat sesuai dengan dimensi yang menjadi persyaratan dari spesifikasi desainer.

Tujuan pengujian ini untuk menentukan nilai kekuatan tarik / UTS (*Ultimate Tensile Strength*) dan nilai regangan paduan aluminium AC4CH. Dari gambar 10 benda uji didapat tabel 10 hasil uji rata-rata nilai kekuatan tarik (*tensile strength*), tegangan proposional (*proof stress*), dan regangan (*elongation*) dari spesimen uji lebih besar terhadap standard nilai yang dipersyaratkan spesifikasi gambar desain. Nilai rata-rata kekuatan tarik 260,22 MPa, sedangkan nilai standarnya minimum 195 MPa. Sedangkan kekuatan tarik tertinggi 272.74 MPa dan nilai terendah sebesar 250,2 MPa.

Gambar 9 Titik lokasi uji hardness dan specimen.

Tabel 3 Hasil uji hardness.

Sample	Std	Result		Judge
		A	B	OK
1	40 ~ 60 HRB	47.4	52.9	OK
2		46.2	51.5	OK
3		52.9	52.8	OK
4		49.4	48.3	OK
5		50.3	48.1	OK
	X	49.24	50.72	OK

Gambar 10 Benda uji tarik.

Pengujian beban statik terhadap komponen bracket torque rod dilakukan untuk mengetahui kekuatan material produk/komponen ketika dikenai beban statik, Pengujian dilakukan menggunakan mesin Hungta dengan kapasitas pembebanan maksimum 100 kN. Spesimen uji bracket torque rod diposisikan pada jig yang desainnya sudah disesuaikan dengan arah desain pembebanan operasional, sehingga arah mesin uji terhadap jig memiliki besar sudut yang sama dengan arah pembebanan. Pembebanan pengujian statik terhadap komponen ini dilakukan melalui uji tarik dan kompresi dengan arah pembebanan 13° terhadap posisi normal.

Tabel 4 Hasil uji Tarik.

No	POINT CHARACTERISTIC PART			Judge
	Tensile	Proof stres	Elongation	
	Min 195 Mpa	Min 165 Mpa	Min 3%	
1	272.74	220.97	5.5	OK
2	268.0	212.1	7.8	OK
3	250.2	206.4	4.3	OK
4	254.8	204.5	7.0	OK
5	255.4	214.8	5.9	OK
X	260.22	211.76	6.08	OK

Pengujian ini dilakukan dengan bantuan *jig-rig* yang sudah didesain posisi kemiringannya sehingga arah pembebanan yang terjadi pada produk sebesar 13° dari posisi normal. Berdasarkan standar yang ditetapkan desainer, nilai beban tarik 13° hingga gagal (*failure*) minimum 22,7 kN. Gambar 11a foto ketika pengujian tarik statik dengan arah pembebanan 13° terhadap gaya normal. Setelah dilakukan pengujian, spesimen patah (*failure*) pada nilai pembebanan 48,6 kN lebih besar dari pembebanan 22,4 kN yang merupakan persyaratan desain. Dalam hal ini kekuatan tarik specimen memenuhi persyaratan desain sehingga mampu menahan bebann minimum 22,4 kN. Gambar 11b menunjukkan kondisi specimen setelah mengalami kerusakan ketika pembebanan mencapai 48,6 kN, dimana specimen patah menjadi 2 bagian.

Gambar 11 Arah pembebanan tarik 13° dan sample uji yang rusak.

Gambar 12 Arah pembebanan kompresi 13° dan sample uji yang rusak.

Seperti halnya pengujian tarik, pengujian tekan juga didukung oleh *jig-rig* yang sudah didesain posisi kemiringannya, sehingga arah beban uji sesuai dengan beban operasi sebesar 13° dari posisi normal. Berdasarkan standar yang ditetapkan desainer, kegagalan komponen uji terjadi jika gaya kompresi pada pengujian maksimum 28,7 kN. Setelah pembebanan diberikan dalam pengujian ini, specimen mengalami kerusakan (*failure*) ketika beban mencapai nilai 56,4 kN, sehingga melampaui

nilai pembebanan 28,7 kN dan memenuhi persyaratan dalam standar desain. Kondisi pembebanan kompresi yang mempunyai sudut 13° terhadap posisi normal specimen selama pengujian dan specimen patah setelah diuji kompresi ditunjukkan pada gambar 12. Keretakan dapat dideteksi secara visual seperti ditunjukkan pada gambar 12b.

Pengujian tarik dengan arah pembebanan 7° dari arah posisi normal dilakukan dengan tujuan sebagai fungsi keamanan (*safety*) beban patah pada pengujian ini tidak boleh melampaui 65 kN. Spesimen yang digunakan untuk pengujian berjumlah 3 buah dengan maksud untuk melihat kestabilan hasil pengujian. Gambar 13a menunjukkan kondisi specimen ketika dilakukan pengujian tarik statik dengan arah pembebanan 7° terhadap gaya normal. Ketiga sample uji tarik beban 7° mengalami kegagalan (*failure*) pada pembebanan sebesar 45,39 kN untuk sample pertama, 55,61 kN untuk sample kedua dan 53,04 kN untuk sample ketiga. Hasil ini menunjukkan bahwa sample uji masuk dalam standar nilai yang ditetapkan desainer dalam spesifikasi gambar, dimana telah menetapkan bahwa material bracket harus mengalami patah/*failure* pada pembebanan tarik 7° dengan gaya pembebanan tidak lebih dari 65 kN. Material *bracket* harus mengalami kegagalan sebagai fungsi titik aman terhadap kegagalan yang lain selain bracket ketika operasi yaitu maksimum beban statik 7° adalah 65 kN. Kondisi sample uji setelah dilakukan pengujian tarik arah beban 7° , hingga patah (*break*) terbagi menjadi 2 bagian (gambar 13b).

Gambar 13 Arah pembebanan tarik 7° dan sample uji yang rusak.

Pengujian kelelahan/fatik (*fatigue*) dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi kegagalan fatik ketika produk menerima beban

dinamis pada kondisi yang sudah ditentukan, Pengujian dilakukan menggunakan *Servo Hydraulic Testing Machine* 63 KN. Spesimen uji *bracket torque rod* diposisikan pada jig yang desain nya sudah disesuaikan dengan arah pembebanan uji statik, sehingga arah mesin uji terhadap jig memiliki besar sudut yang sama dengan arah pembebanan dinamis.

Gambar 14 Set-up pembebanan uji dinamik komponen *bracket torque rod*.

Gambar 15 Hasil inspeksi dye penetrant pada spesimen 15.000 siklus.

Gambar 16 Hasil inspeksi dye penetrant pada spesimen 30.000 siklus.

Seperti halnya pada uji statik, pada pengujian ini juga dibantu jig-rig yang didesain mempunyai posisi kemiringan sehingga arah pembebanan pada spesimen sebesar 13° dari posisi normal. Berdasarkan standar yang ditetapkan desainer, komponen uji dengan beban dinamis 13° ini tidak mengalami keretakan atau kegagalan setelah jumlah siklus 15000 dan 30000 untuk specimen dengan beban tarik sebesar 8,7 kN dan kompresinya sebesar 15,8 kN. Gambar 14 set up benda uji dengan arah pembebanan 13° terhadap gaya normal.

Pada pengujian dinamik, satu benda uji diberi beban tarik dan kompresi secara terus menerus selama 15000 dan benda uji yang lain diberi beban dinamik hingga 30000 siklus. Beban tarik yang diberikan sebesar 8.7 kN dan beban kompresi sebesar 15.8 kN. Setelah dilakukan pengujian dinamik, dilakukan *non destructive test* menggunakan metode *liquid dye penetrant* untuk mengamati apakah terjadi kegagalan yaitu keretakan ataupun retak halus (*fine crack*) pada benda uji yang telah diuji dinamik. Gambar 15 dan 16 merupakan kondisi benda uji setelah dilakukan inspeksi *dye penetrant*, dimana hasil inspeksi terhadap benda uji tidak ditemukan adanya tanda-tanda kegagalan (*failure*) seperti keretakan.

5. KESIMPULAN

Semua unsur kimia material aluminium padu AC4C dan AC4CH berada dalam range yang sama. Karakteristik mekanis material AC4CH lebih baik dibandingkan material AC4C dimana perubahan material baku pada proses manufaktur *bracket torque rod* mempunyai kualitas yang lebih baik. Tidak ada perbedaan komposisi kimia signifikan antara sample uji sebelum dan sesudah proses *heat treatment*.

Hasil uji mikrostruktur sesuai standar mikrostruktur AC4CH dalam bentuk silikon eutektik halus dan spheroid. Sedangkan nilai kekerasan memenuhi nilai standar desain yaitu nilai terendah 46.2 HRB dan nilai tertinggi adalah 52.9 HRB, sedangkan nilai rata-rata kekerasan spesimen uji di titik A adalah 49.24 HRB dan di titik B sebesar 50.72 HRB. Kekuatan tarik spesimen uji tarik lebih besar dari nilai standar desain (195 MPa) yaitu 260,22 MPa. Dari hasil pembebanan statik terhadap *bracket torque rod* dengan sudut pembebanan 13° dan 7° baik tekan maupun tarik mempunyai nilai kuantitatif yang lebih besar dengan nilai standar desain. Dari pengujian dinamik dengan beban tarik 8.7 kN dan kompresi 15.6 kN secara terus menerus

selama 15000 dan 30000 siklus, melalui metode inspeksi dye penetrant tidak ditemukan adanya tanda-tanda keretakan.

Hasil penelitian terhadap produk dalam negeri komponen otomotif *bracket torque rod* dari material AC4CH telah memenuhi standar desain fabrikasi yang ditetapkan oleh desainer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan terima kasih kepada Manajemen di Badan Standardisasi Nasional (BSN) khususnya kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Standardisasi yang telah memfasilitasi dan membantu di dalam publikasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Saputra, B. D., (2014), *Tinjauan tentang keberadaan ATPM di industri otomotif Indonesia*, Privat Law Edisi 03 Nov 2013-Maret 2014.
- Suardi, S., (2011), *Pengembangan system friction stir welding pada material AC4CH*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok Juli 2011.
- JIS H 5202, (2006), *Aluminium alloy castings*, JIS Handbook Non-Ferrous Metals and Metallurgy.
- Anzip, A., Suhariyanto, (2013), *Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.2 dengan Penambahan Manganese (Mn) dan Perlakuan Panas T6*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 2013.
- Iswanto, P.T., (2014), *Peningkatan Umur Fatik Paduan A356.0 Untuk Aplikasi Velg Sepeda Motor Dengan Metode Centrifugal Casting Putaran Tinggi*, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2014, Pascasarjana Prodi S2/S3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
- Mae, H., Teng, X., Bai, Y., Wierzbicki, T., (2009), *Ductile fracture locus of AC4CH-T6 cast aluminium alloy*, International scientific journal, the Association of Computational Materials Science and Surface Engineering, Volume 1, Issue 2, 100-105.
- Paryono, Bayuseno, A.P., Nugroho, S., (2011), *Pengaruh Perlakuan Panas T6 Terhadap Kekerasan Pada Paduan Aluminium ADC12 Hasil Proses High Pressure Die Casting (HPDC)*, Jurnal Rekayasa Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Volume 6, Nomor 3, Desember 2011, 72-76.
- Wang, L., Kobayashi, T., Liu, C. M., Masuda, T., (2004), *High-loading Velocity Tensile Properties and Fracture Behavior of SiCp/AC4CH Composite*, Materials Transactions, Vol. 45, No. 5, pp. 1738 to 1742, The Japan Institute of Metals.
- Nakayama, Y., Miyazaki, T., (2011), *Effect of Eutectic Si Particle Morphology on ECAP Formability and Mechanical Properties of AC4CH Aluminum Casting Alloys*, Materials Transactions, Vol. 52, No. 11, pp. 2045 to 2051, The Japan Institute of Light Metals.
- ASTM E8, (2009), *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.