

Perancangan Struktur *Road Bike Frame* Menggunakan Aluminium 6063 Melalui Proses Optimalisasi Perlakuan Panas

Jaller Gilang Anarkhi Paksi^{1,a)}, Ilham Aditya Cristian^{2,b)}, Reinaldy Indriansyah^{3,c)}

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin ITI ,
Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15320

a)anarkhigilang98@gmail.com, b)ilhamaditya2008@gmail.com, c)reinaldyindriansyah@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan simulasi pada rangka sepeda menggunakan Solidworks 2017. Dilakukan pula peningkatan sifat mekanis material aluminium 6063 dengan menggunakan metode *Precipitation Hardening*. Proses *Solution Treatment* dilakukan dengan temperatur 520°C selama 50 menit, kemudian didinginkan menggunakan air dan dipanaskan kembali dengan proses *Artificial Aging* pada temperatur 155°C dan 175°C selama 8 jam. Hasil yang diperoleh yakni terjadinya peningkatan sifat mekanis akibat penyebaran presipitasi Mg₂Si semakin banyak dan merata setelah aluminium dilakukan proses *Artificial Aging*. Pada proses *Artificial Aging* dengan temperatur 155°C dihasilkan nilai tegangan tarik sebesar 199 MPa dan pada temperatur 175°C dihasilkan sebesar 123 MPa. Hasil perancangan rangka sepeda menggunakan aluminium 6063-T6 didapati rangka sepeda aman dan layak digunakan dengan pembebanan maksimal sebesar 80 kg.

Kata Kunci: aluminium 6063-T6, precipitation hardening, rangka, Solidworks

Abstract

In this research, design and simulation of bicycle frame conducted using Solidworks 2017. The enhancement of mechanical properties of aluminum material 6063 also being conducted using the Precipitation Hardening method. Solution Treatment process conducted with temperature 520°C for 50 minutes, then cooled using water and reheated with Artificial Aging process at 155°C and 175°C for 8 hours. The results of the research yield an increase in mechanical properties due to the spread of Mg₂Si precipitation more and more evenly after aluminum was carried out with Artificial Aging process. In Artificial Aging process with temperature of 155 °C yield tensile voltage value of 199 MPa and at a temperature of 175 °C yield 123 MPa. The design of the bicycle frame using aluminum 6063-T6 was found to be safe and feasible with maximum weight of 80 kg.

Keywords: aluminium 6063-T6, frame, precipitation hardening, Solidworks

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan teknologi pada saat ini mengalami peningkatan yang sangat pesat disertai dengan berkembangnya proses produksi membuat kebutuhan dalam bidang transportasi juga semakin meningkat, salah satunya adalah transportasi sepeda. Sepeda yang pada awalnya mempunyai bentuk yang sederhana dan penggunaannya terbatas, saat ini sudah mengalami peningkatan dari segi desain, material, dan aksesoris yang sesuai guna memenuhi kebutuhan yang meningkat.

Rangka sepeda (*bicycle frame*) merupakan komponen utama dari sebuah sepeda. Rangka berfungsi sebagai tempat dudukan semua komponen pada sepeda dan penopang untuk pengendara sepeda, sehingga pada saat perancangan harus memperhatikan berbagai faktor, seperti struktur geometri rangka, keamanan rangka,

kekuatan rangka, dan pemilihan material rangka. Dengan memperhatikan dari pertimbangan tersebut rangka akan mendapatkan kenyamanan dalam berkendara dan produk yang berkualitas tinggi [1].

Material rangka sepeda *modern* pada umumnya terbuat dari besi atau logam campuran aluminium, karbon, dan titanium. Sehingga berat rangka sepeda menjadi lebih ringan untuk dikendarai di jalanan beraspal. Aluminium merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam proses *manufacturing*. Aluminium dalam bentuk paduan yang sering dikenal dengan istilah aluminium *alloy*. Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru oleh karena itu dibuatlah sistem penamaan yang sesuai.

Aluminium seri paduan aluminium 6xxx sejauh ini telah menunjukkan sifat mekanis yang luar biasa, kemampuan bentuk, ketahanan korosi yang lebih tinggi, kemampuan las yang lebih baik, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi dan biaya lebih rendah dibandingkan dengan paduan lainnya, seperti paduan aluminium 2xxx dan 7xxx. Seri aluminium ini merupakan produk aluminium yang telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang teknologi. Diantara berbagai macam elemen paduan yang tersedia untuk pengembangan paduan aluminium 6000 yang dapat diolah dengan perlakuan panas, penelitian terbaru telah mengusulkan silikon dan magnesium sebagai elemen paduan utama aluminium [2].

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah faktor geometri rangka sepeda yang tidak sesuai dengan postur tubuh masyarakat Indonesia dan daya tahan dari bahan rangka sepeda merupakan masalah yang sering terjadi.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah merancang struktur *road bike frame* menggunakan *software* Solidworks 2017. Penggunaan pada *software* dilakukan simulasi untuk mengetahui kekuatan nilai tegangan, deformasi, dan regangan pada rangka sepeda. Dilakukan juga peningkatan sifat mekanis aluminium 6063 dengan menggunakan metode *Precipitation Hardening* terhadap perubahan struktur mikro dan kekuatan material aluminium 6063 dengan pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia menggunakan SEM EDS, uji Metalografi, dan uji Tarik.

D. Batasan Masalah

Pada penelitian ini memiliki batasan masalah yang hanya membahas mengenai beberapa faktor. Berikut batasan masalah pada penelitian ini :

1. Perancangan rangka sepeda menggunakan *software* Solidworks 2017.
2. Simulasi pengujian yang dilakukan hanya untuk mengetahui nilai tegangan, deformasi, dan regangan pada rangka sepeda.
3. Tidak dilakukan perhitungan secara manual pada perancangan rangka sepeda.
4. Material yang digunakan aluminium 6063 (Al-Mg-Si).
5. Proses pengerjaan dilakukan dengan metode *Solution Treatment* dengan temperatur 520°C selama 60 menit, kemudian didinginkan menggunakan air.
6. *Artificial Aging* dengan variasi temperatur 155°C dan 175°C selama 8 jam, kemudian didinginkan menggunakan udara selama 24 jam.

II. LANDASAN TEORI

A. Rangka Sepeda

Rangka (*frame*) adalah bagian utama dari sebuah sepeda, dalam perancangan rangka sepeda harus memperhatikan faktor geometri. Geometri adalah istilah keseluruhan yang mengacu pada semua sudut dan dimensi yang membuat sepeda cocok dan berfungsi sebagaimana mestinya. Secara umum perancangan sepeda mengacu pada ukuran rangka yang standar, seperti jarak dari *head tube* menuju *seat pin*, jarak dari *seat pin* menuju *bottom bracket axle* dan *wheel base*.

Geometri yang sama juga menentukan penanganan atau perilaku dari sepeda. Seberapa stabil sepeda itu ketika bergerak di jalan, kemampuan untuk melewati tikungan, dan kemampuan membawa beban. Semua hal tersebut ditentukan oleh hubungan tertentu antara setiap dimensi geometri rangka sepeda. Bentuk rangka *road bike* beserta bagian-bagiannya dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Bentuk bagian-bagian rangka *road bike*

B. Bentuk dan Tubuh Pengendara

Ukuran rangka sepeda ditentukan oleh bentuk dan ukuran tubuh manusia, artinya ukuran rangka sepeda sangat ditentukan oleh panjang pendeknya anggota dan bentuk tubuh pengendara. Kedua parameter tersebut akan menentukan posisi titik-titik simpul penting dari anggota tubuh saat mengendarai sepeda, misalnya pergelangan tangan, titik simpul bahu, sikut, lutut, pinggul posisi leher [3].

Secara umum perancangan sepeda mengacu pada ukuran rangka yang standar, seperti jarak dari *head tube* menuju *seat pin*, jarak dari *seat pin* menuju *bottom bracket axle* dan *wheel base*. Standarisasi dimensi rangka sepeda yang dimaksud untuk menjaga ukuran sepeda selalu tetap. Ukuran tubuh masyarakat di Indonesia (disebut sebagai antropometri) secara normal berbeda sesuai dengan usia, yaitu usia anak-anak, remaja dan dewasa. Ukuran tubuh remaja sangat bervariasi, dan cenderung tidak berbeda dengan ukuran tubuh orang dewasa. Penetapan ukuran tubuh pengendara sepeda, ukuran remaja tidak perlu dianalisa. Berdasarkan antropometri ukuran tubuh masyarakat di Indonesia, perbandingan tinggi tubuh anak-anak dan orang dewasa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan tinggi tubuh orang dewasa dan anak-anak berdasarkan antropometri

Kategori	Jenis Kelamin	Rata-rata (m)	5% (persen)	95% (persen)	Rentan Tinggi (m)
Dewasa	Laki-laki	1,632	1,532	1,732	1,55 – 1,75
	Perempuan	1,563	1,464	1,662	
Anak-anak	Laki-laki	1,458	1,346	1,570	1,35 – 1,55
	Perempuan	1,474	1,354	1,590	

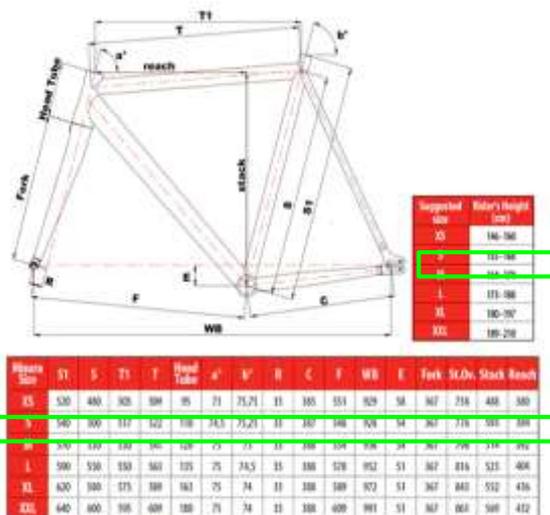
Sumber : (Bataa, 2008)

C. Bentuk dan Tubuh Pengendara

Guna menentukan ukuran rangka sesuai dengan posisi tubuh pengayuh saat mengendarai, maka dilakukan penetapan posisi ideal pengendara. Posisi ini ditentukan oleh posisi anggota tubuh saat beraktifitas. Metode yang bisa dipakai untuk mengevaluasi posisi tubuh yang paling aman dan nyaman saat melakukan kegiatan adalah metode RULA. RULA dikembangkan oleh McAtemney tahun 1989 dan sangat populer dalam bidang ergonomi terapan (*applied ergonomic*). Tingkat keamanan dan kenyamanan pengendara sepeda diketahui dengan mengevaluasi posisi dan gerakan tubuh pada saat mengayuh sepeda [4].

Persyaratan penting yang ditetapkan dalam perancangan sepeda adalah aman, nyaman, dan efisien. Aman dapat diketahui dari kekuatan rangka sepeda, sedangkan nyaman (ergonomis) didapat dari kecilnya tingkat risiko cedera tubuh pada saat mengayuh. Ukuran rangka sepeda ditentukan oleh ukuran tubuh pengendara, sehingga ukuran sepeda dibebberapa negara yang ukuran tubuhnya tidak sama. Geometri Ideal sebuah rangka dimaksudkan sebagai ukuran yang paling nyaman, aman dan efisien dan sesuai dengan antropometri masyarakat Indonesia. Ukuran standar geometri rangka sepeda yang sesuai dengan data antropometri masyarakat Indonesia ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran standar geometri *road bike frame*



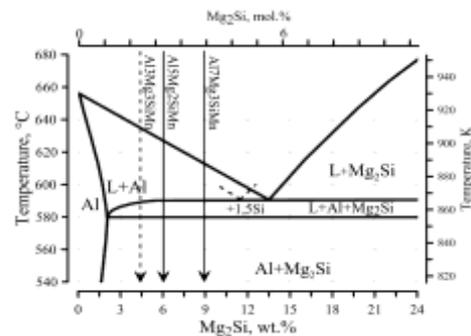
Sumber : <https://www.cinelli-usa.com/>

D. Aluminium

Aluminium adalah bahan campuran yang mempunyai sifat-sifat logam, terdiri dari dua atau lebih unsur-unsur dan sebagai unsur utama campuran adalah logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Li, dan sebagainya secara satu persatu atau bersama-sama [5]. Paduan aluminium adalah kombinasi dari dua atau lebih jenis logam, kombinasi ini dapat merupakan campuran dari dua struktur kristalin. Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia, saat ini klasifikasi yang sangat terkenal dan sempurna adalah standar Aluminium Association (AA) didasarkan dari ALCOA (Aluminium Company Of America). Berdasarkan *Aluminium Association* paduan aluminium dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu paduan *Non Heat Treatable* dan paduan *Heat Treatable*.

E. Paduan Aluminium Mg₂Si

Paduan aluminium 6063 termasuk kedalam kelompok paduan AlMgSi, dan seri 6xxx merupakan kelompok paduan yang dapat dilakukan proses *heat treatment*. Kelompok paduan AlMgSi dapat dikelompokkan lagi berdasarkan kandungan Magnesium dan Silikon serta sifat – sifat fisik maupun sifat mekanis yang dimilikinya. Kelompok paduan AlMgSi antara lain Al 6053, Al 6061, Al 6063, Al 6065 dsb. Magnesium (Mg) dan silicon (Si) dapat membentuk fase penguatan intermetalik Mg₂Si yang mengendap dalam matriks α (*alpha*) aluminium dan meningkatkan kekuatan luluh, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram fasa Al-Mg₂Si

Diantara paduan aluminium komersial, silikon dengan elemen paduan utama adalah yang paling penting terutama karena karakteristiknya yang sangat baik. Penambahan Si (*silicon*) ke aluminium murni memberikan fluiditas tinggi, karakteristik yang baik, penyusutan rendah dan ketahanan retak panas yang baik. Rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi adalah salah satu karakteristik paling menarik.

Karena kepadatan Si adalah 2,3 gr/cm³, itu adalah salah satu dari beberapa elemen yang dapat ditambahkan ke aluminium (2,7 gr/cm³) tanpa kehilangan keuntungan

berat. Paduan aluminium-silikon yang tidak mengandung penambahan tembaga digunakan saat *castability* yang baik dan ketahanan korosi yang baik diperlukan. Magnesium juga dapat bertindak sebagai pengganti tembaga [6].

F. Solution Treatment

Dalam proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) yaitu pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 520°C dan dilakukan penahanan atau *holding time* selama 60 menit. Tujuan dari *solution treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen. Adapun *solution heat treatment* pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 550°C-560°C dengan menahan waktu (*holding time*). Pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada menjadi larutan.

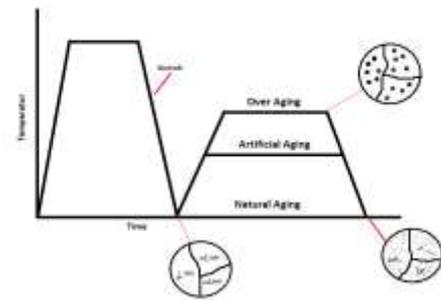
G. Proses Pendinginan (*Quenching*)

Proses pendinginan dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas ke dalam media pendingin air. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *Quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan atau *hardenability* yang relatif rendah seperti paduan aluminium. Pendinginan dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas 520°C ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruangan. Tujuan dilakukan proses *Quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada proses *Solution Treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan *thermal* pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Pada proses *Quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang. Pada proses *Quenching* tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga menyebabkan jumlah kekosongan atom tetap besar.

H. Proses Penuaan (*Aging*)

Proses penuaan pada aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu *natural aging* (penuaan alami) dan *artificial aging* (penuaan buatan). Proses penuaan dapat dilakukan dengan membiarkan larutan lewat jenuh itu pada temperatur kamar atau ruangan selama waktu yang ditentukan. Perlakuan panas yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan luluh bahan yang mudah ditempa, termasuk sebagian besar paduan struktural aluminium, magnesium, nikel, titanium dan beberapa baja tahan karat dan baja lainnya. *Super alloy* diketahui menyebabkan anomali kekuatan luluh memberikan kekuatan suhu tinggi yang sangat baik. Diagram proses

Preticipation Hardening pada aluminium 6063 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram proses *Preticipation Solution Treatment*, *Quenching*, dan *Aging* terhadap temperatur dan waktu

Pengerasan pretisipasi bergantung pada perubahan kelarutan padat dengan suhu untuk menghasilkan partikel halus dari fase pengotor yang menghambat pergerakan dislokasi atau cacat pada kisi kristal [7].

I. Pengujian Scanning Electron Microscope

SEM (Scanning Electron Microscope) adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi atau struktur mikro permukaan dari suatu bahan/material. Alat ini dilengkapi dengan EDX (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel yang dianalisis. Analisa struktur mikro dilakukan terutama untuk melihat ukuran dan bentuk partikel yang dihasilkan. Instrument mikroskop electron atau Scanning Electron Microscopy (SEM) biasa digunakan untuk bubuk yang relatif kasar, sedangkan untuk yang lebih halus (skala nanometer) digunakan Transmission Electron Microscopy (TEM). Metode SEM merupakan pemeriksaan dan analisa permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20µm dari permukaan.

J. Pengujian Metalografi

Metalografi merupakan ilmu di dalam bidang manufaktur (*manufacture*) yang mempelajari tentang karakteristik mikrostruktur dan makrostruktur suatu logam yang diamati menggunakan mikroskop optik. Paduan logam dan material lainnya serta hubungannya dengan sifat-sifat material atau biasa juga dikatakan suatu proses untuk mengukur suatu material baik secara kualitatif maupun kuantitatif berdasarkan informasi-informasi yang didapatkan dari material. Pengujian metalografi dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pengujian makro yang dilakukan dengan pembesaran 10x sampai dengan 100x dan pengujian mikro yang dilakukan dengan pembesaran 500x sampai dengan 1000x.

K. Pengujian Tarik

Pengujian tarik (*tensile test*) adalah pengujian mekanik secara statis dengan cara sampel ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya dimana gaya tarik dengan satuan Mega Pascal (MPa). Pada prinsip pengujian Tarik benda uji yang digunakan menggunakan standar seperti ASTM, JIS, DIN, dan SNI. Benda uji yang berbentuk silindris atau plat dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Tujuannya untuk mengetahui sifat-sifat mekanik tarik (kekuatan tarik) dan regangan yang terjadi pada benda uji yang dilakukan pada pengujian Tarik.

L. Simulasi Von Misses Stress

Teori atau tegangan Von Mises adalah sebuah teori kegagalan yang diperkenalkan oleh Huber pada tahun 1904 dan disempurnakan oleh Von Mises dan Heckly. Von Mises (1913) menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana invarian kedua deviator tegangan J_2 melampaui harga kritis tertentu. Dengan kata lain luluh akan terjadi pada saat energi distorsi atau energi regangan geser dari material mencapai suatu nilai kritis tertentu. Dalam ilmu material dan teknik, kriteria luluh von Mises dapat juga diformulasikan dalam Von Mises stress atau equivalent tensile stress (σ_v), nilai tegangan scalar dapat dihitung mulai dari tensor tegangan [8]. Kriteria luluh Von Mises mengisyaratkan bahwa luluh tidak tergantung pada tegangan normal atau tegangan geser tertentu, melainkan tergantung dari fungsi ketiga harga tegangan geser utama. Karena kriteria luluh didasarkan atas selisih tegangan normal ($\sigma_1 - \sigma_2$).

M. Simulasi Displacement

Pergeseran (*displacement*) adalah perubahan bentuk pada balok atau batang dalam arah vertikal dan horisontal akibat adanya pembebanan yang diberikan pada balok atau batang. Sumbu sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan transversal baik itu beban terpusat maupun terbagi merata akan mengalami defleksi [9]. Tabel 3 merupakan batasan *displacement* yang disarankan untuk sebuah konstruksi. Dengan demikian, batang atau rangka yang dirancang dengan baik tidak hanya mampu menahan beban yang akan diterimanya, tetapi mampu mengatasi terjadinya *displacement* sampai batas tertentu.

Tabel 3. Batasan *displacement* yang disarankan

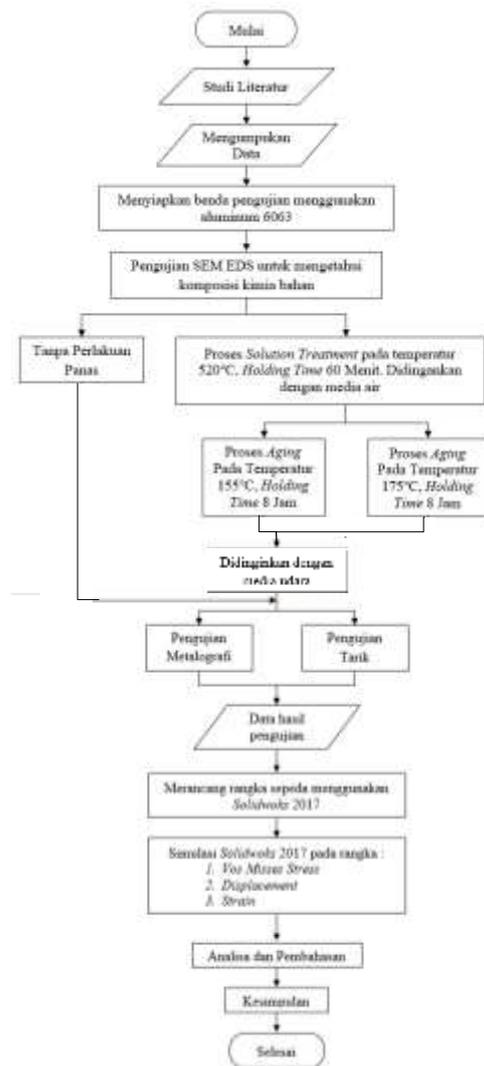
Kriteria	Batasan yang disarankan (mm/mm panjang)	Batasan rangka (panjang 4400mm)
Umum	0,0012705 - 0,0076203	0,558822 mm - 3,352932 mm
Sedang	0,000025401 - 0,00127005	0,011176 mm - 0,558822 mm
Tinggi	0,00000254 - 0,000025401	0,001118 mm - 0,011176 mm

N. Simulasi Strain

Simulasi regangan (*strain*) terjadi pada suatu batang lurus atau suatu rangka yang akan mengalami perubahan panjang (*strain*) apabila dibebani secara aksial, yaitu menjadi panjang jika mengalami tarik dan menjadi pendek jika mengalami tekan. Pertambahan panjang pada batang dinotasikan dengan Δ (delta), s dimana satu satuan panjang dari batang akan mempunyai perpanjangan yang sama dengan $1/L$ kali perpanjangan total Δ . Perpanjangan pada batang dapat diukur untuk setiap kenaikan tertentu dari beban aksial. Regangan ϵ disebut regangan normal karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal. Jika batang mengalami tarik, maka regangannya disebut regangan tarik, yang menunjukkan perpanjangan bahan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan kegiatan pengujian dan penelitian tugas akhir ini, disusun sejumlah tahapan untuk melakukan analisa guna mencapai tujuan yang diharapkan. Tahapan tersebut diberikan kedalam diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



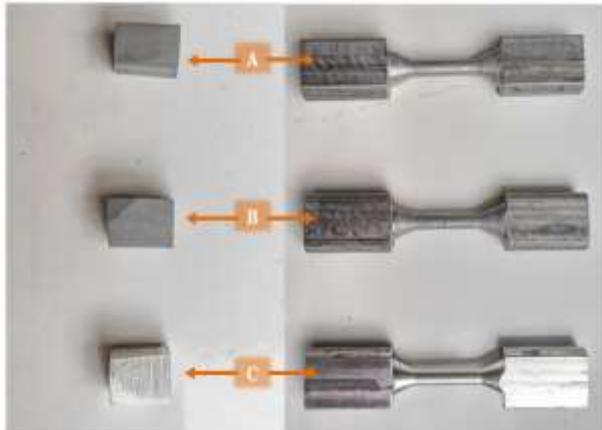
Gambar 4. Diagram alir penelitian

IV. HASIL PENELITIAN

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan di Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM-BATAN). Pengujian yang dilakukan yaitu uji komposisi kimia menggunakan SEM, uji Metalografi, dan uji Tarik pada material aluminium 6063 (Al-Mg-Si). Hasil pengujian yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Setelah data hasil pengujian diperoleh, selanjutnya dilakukan perancangan *road bike frame* dengan memasukan nilai hasil data pengujian dari aluminium 6063. Dilakukan simulasi *von misses stress*, *displacement*, dan *strain* pada rangka sepeda menggunakan *software Solidworks 2017*.

A. Material Uji

Pada penelitian yang dilakukan menggunakan benda uji berbahan aluminium 6063 yang ditunjukkan pada Gambar 5. Digunakan 6 (enam) buah benda uji dalam pengujian, yaitu benda uji tanpa perlakuan panas serta benda uji yang mengalami proses *Artificial Aging* dengan variasi temperatur 155°C dan 175°C selama 8 jam.

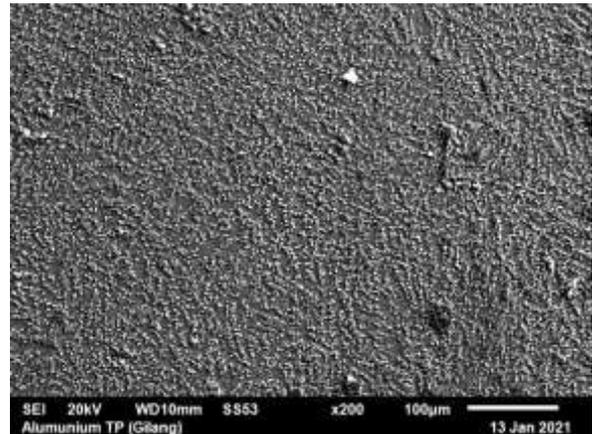


Gambar 5. (A) Benda uji tanpa perlakuan panas, (B) Benda uji dengan temperatur *aging* 155°C, (C) Benda uji dengan temperatur *aging* 175°C

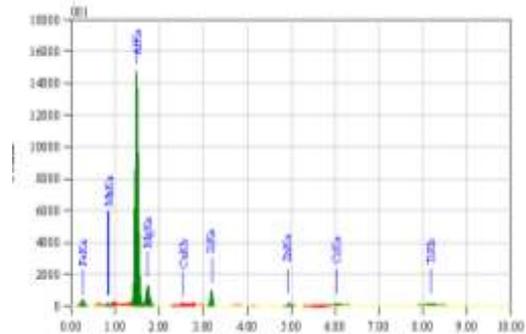
B. Hasil Pengujian Scanning Electron Microscopy

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia pada aluminium 6063. Pengujian menggunakan mesin SEM yang dilengkapi dengan EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) dengan tipe JSM-6510LA dari fabrikasi JEOL. Pengujian SEM EDS dilaksanakan 2 (dua) kali pengujian. dengan parameter akuisisi menggunakan *instrument 6510 (LA)*, *voltage 20 kV*, *dead time* sebesar 25%, sudut akuisisi sekitar 15° serta jumlah *counting rate* 5487 cps, diketahui bahwa unsur dominan adalah aluminium diambil dengan detektor Back Scattered Electron (BSE). Pada Gambar 6 terlihat salah satu hasil pengujian struktur mikro menggunakan SEM

EDS dan pada Gambar 7 menunjukkan hasil EDS spektrum presipitasi struktur mikro aluminium 6063 (Al-Mg-Si).



Gambar 6. Hasil uji SEM struktur mikro aluminium 6063



Gambar 7. EDS spektrum presipitasi struktur mikro aluminium 6063

Dari hasil SEM Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) pada Gambar 6 diketahui bahwa unsur dominan adalah aluminium diambil dengan detektor Back Scattered Electron (BSE).

Pada Tabel 4 diketahui komposisi kimia paduan aluminium 6063. Terlihat bahwa paduan aluminium 6063 mempunyai unsur dominan dengan nilai rata-rata aluminium murni sebesar 94,279%, magnesium 2,254%, silikon 2,087%, besi 0,664%, dan mangan 0,478% serta terdapat beberapa unsur penunjang lainnya seperti *chromium*, *nikel*, *tembaga*, dan *titanium* yang mempunyai kandungan tidak lebih dari 0,1%.

Tabel 4. Hasil uji komposisi kimia aluminium 6063 dengan SEM EDS

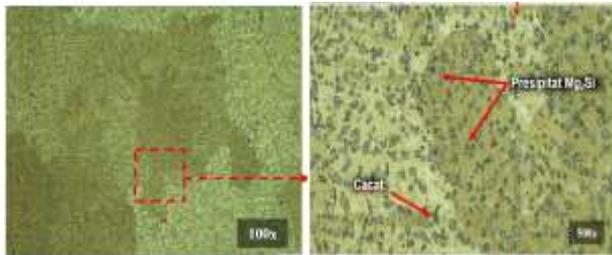
Unsur/ Elemen	Unsur/ Elemen	Wt (%)		
		Uji 1	Uji 2	Rata-rata
Fe		0,627	0,702	0,664
Mn		0,473	0,482	0,478
Al		94,376	94,182	94,279
Mg		2,248	2,260	2,254
Cu		0,084	0,104	0,094
Si		2,068	2,107	2,087
Zn		0,043	0,052	0,047
Cr		0,067	0,072	0,069
Ti		0,023	0,039	0,031

C. Hasil Pengujian Metalografi

Uji Metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada aluminium 6063 menggunakan mikroskop tipe *Olympus BX-5*. Digunakan 3 (tiga) buah benda uji dalam pengujian, yaitu benda uji tanpa perlakuan panas serta benda uji yang mengalami proses *Artificial Aging* dengan variasi temperatur 155°C dan 175°C.

Benda uji tanpa perlakuan panas

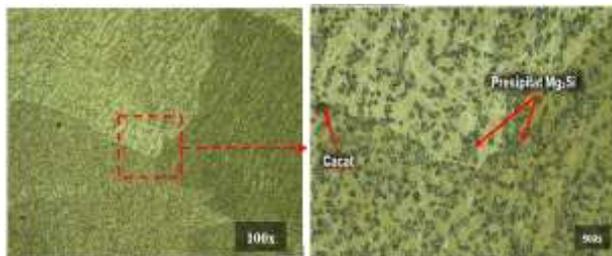
Pada Gambar 8, diketahui hasil pengamatan struktur mikro pada aluminium 6063 tanpa perlakuan panas terlihat berupa fasa *alpha* (α) aluminium ditunjukkan pada daerah yang berwarna kecoklatan. Terbentuk presipitasi Mg_2Si berbentuk butiran kasar berwarna abu-abu. Presipitasi Mg_2Si adalah suatu senyawa yang terbentuk ketika magnesium bereaksi mengikat silikon yang membuat lebih keras dan kuat, semakin halus endapan partikel Mg_2Si maka akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan aluminium 6063.



Gambar 8. Struktur mikro aluminium 6063 tanpa perlakuan panas

Benda uji dengan proses *Artificial Aging* 155°C

Pada Gambar 9 diketahui pada saat aluminium 6063 mengalami proses *Solution Treatment* 520°C akan terbentuk fase homogen dari paduan ini, yang mana kondisi ini bisa dilihat pada diagram fasa Mg_2Si , yaitu terjadinya pelarutan unsur Mg_2Si kedalam unsur *alpha* (α) aluminium. Pada pengamatan struktur mikro aluminium 6063 saat proses *Artificial Aging* pada temperatur 155°C pada daerah 2, pada struktur mikro terjadi penghalusan butir-butir presipitasi Mg_2Si .

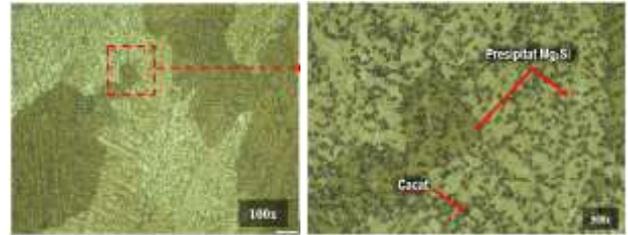


Gambar 9. Struktur mikro aluminium 6063 tanpa perlakuan panas

Benda uji dengan proses *Artificial Aging* 175°C

Pada Gambar 10 pada saat material aluminium 6063 mengalami proses *Artificial Aging* pada temperatur 175°C pada daerah 3, hasil struktur mikro terjadi penghalusan

pada butir-butir presipitasi Mg_2Si dan menyebar lebih merata dibandingkan dengan benda uji dengan proses *Artificial Aging* pada temperatur 155°C dan benda uji tanpa perlakuan panas. Pada benda uji tanpa perlakuan panas presipitasi Mg_2Si terlihat kasar (besar) dimana nilai kekuatan material akan rendah karena dapat mempermudah laju gerakan dislokasi.



Gambar 10. Struktur mikro aluminium 6063 tanpa perlakuan panas

Jumlah butir presipitasi Mg_2Si semakin banyak dan halus cenderung akan semakin banyak batas butir. Presipitasi Mg_2Si yang banyak dan tersebar merata pada batas butir dapat menahan laju gerakan dislokasi. Semakin sulit terjadinya dislokasi maka semakin besar tegangan yang diperlukan untuk menggerakkan dislokasi, hal tersebut akan meningkatkan sifat mekanik pada aluminium 6063.

D. Hasil Pengujian Tarik

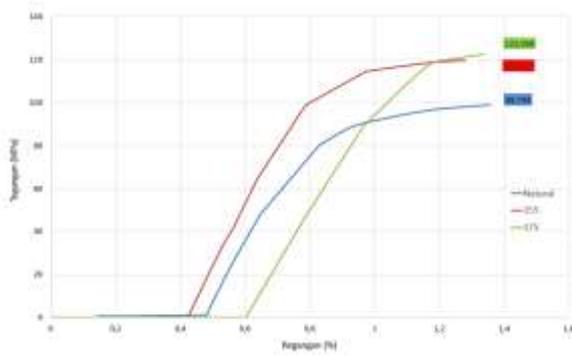
Pengujian Tarik dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada aluminium 6063 menggunakan mesin uji Tarik tipe *Instron 5567* dengan kapasitas 150 kN. Hasil pengujian Tarik pada benda uji tanpa perlakuan panas serta benda uji yang mengalami perlakuan panas dengan benda uji dengan proses *Artificial Aging* pada temperatur 155°C dan 175°C selama 8 jam ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil pengujian Tarik aluminium 6063

Sample	Diameter (mm)	Panjang Awal (mm)	Panjang Akhir (mm)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (%)
Tanpa perlakuan panas	5,98	14	14,08	99	1,357
<i>Artificial Aging</i> 155°C	6,02	14,08	14,12	119	1,278
<i>Artificial Aging</i> 175°C	6,03	14,12	14,57	122	1,337

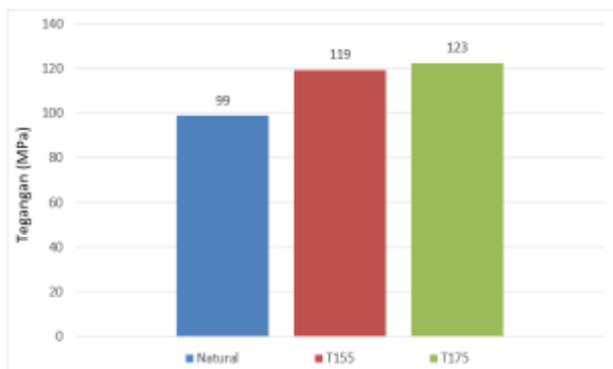
Berdasarkan Tabel 5 data nilai hasil pengujian tarik pada material aluminium 6063 dapat dilihat dalam bentuk grafiknya pada Gambar 11 sebagai perbandingan benda uji tanpa perlakuan panas, benda uji dengan proses *Artificial Aging* menggunakan temperatur 155°C, dan benda uji dengan proses *Artificial Aging* menggunakan

temperatur 175°C. Benda uji yang mengalami perlakuan panas mengalami peningkatan nilai kekuatan tarik dari benda uji tanpa perlakuan panas. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada saat proses *Artificial Aging* butir Presipitasi Mg₂Si menjadi lebih halus dan pendistribusian lebih merata ketika diamati dalam uji Metalografi.

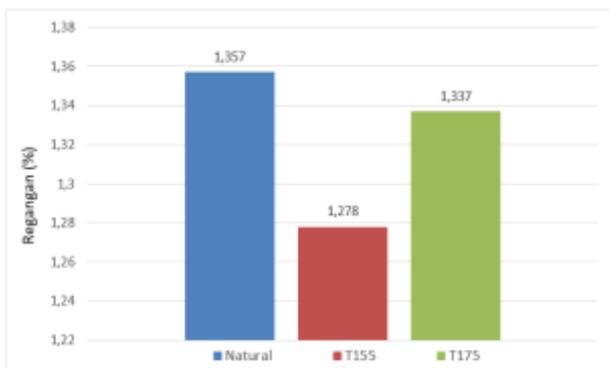


Gambar 11. Grafik hasil pengujian benda uji tanpa perlakuan panas dengan benda uji yang mengalami proses *precipitation hardening*

Hasil pengujian tarik pada Gambar 11 diatas maka didapatkan hasil perbandingan nilai tegangan tarik dan regangan yang terjadi pada benda uji tanpa proses perlakuan panas dan benda uji dengan proses *Artificial Aging* yang ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13 berikut.



Gambar 12. Perbandingan nilai tegangan tarik terhadap benda uji tanpa perlakuan panas dan benda uji dengan temperatur *Artificial Aging*



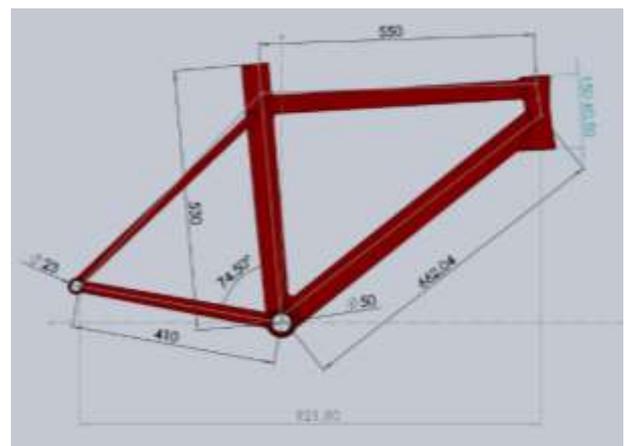
Gambar 13. Perbandingan nilai regangan terhadap benda uji tanpa perlakuan panas dan benda uji dengan temperature *Artificial Aging*

Berdasarkan Gambar 12 didapatkan bahwa nilai tegangan tarik tertinggi di dapat dari proses *Artificial Aging* temperatur 175°C dengan waktu penahanannya (*holding time*) selama 8 jam yang menghasilkan tegangan sebesar 123 MPa. Sementara untuk benda uji dengan proses *Artificial Aging* temperatur 155°C selama 8 jam mengasilkan nilai tegangan sebesar 199 MPa dan benda uji tanpa proses perlakuan panas didapatkan nilai tegangan sebesar 99 MPa. Pengaruh penambahan variasi temperatur pada proses *Artificial Aging* terhadap nilai uji tarik pada aluminium 6063 (AlMgSi), bahwa semakin tinggi temperatur yang diberikan maka akan berpengaruh terhadap nilai tegangan tariknya.

Pada Gambar 13 diketahui bahwa nilai regangan tertinggi terjadi pada benda uji tanpa proses perlakuan panas mengalami regangan sebesar 1,357%. Benda uji yang sudah mengalami proses *Precipitation Hardening* (*Solution Treatment, Quenching, dan Artificial Aging*) terjadi penurunan nilai regangan. Benda uji dengan proses *Artificial Aging* temperatur 175°C mengalami penurunan nilai regangan sebesar 1,337% dan benda uji dengan proses *Artificial Aging* temperatur 155°C memiliki nilai regangan terendah yaitu sebesar 1,278%.

E. Hasil Perancangan Rangka Sepeda

Berdasarkan data antropometri ukuran tubuh rata-rata orang dewasa masyarakat Indonesia pada Tabel 1, maka geometri ideal *road bike frame* adalah ukuran M. Spesifikasi struktur *road bike frame* dijelaskan pada Gambar 14.



Gambar 14. Dimensi *road bike frame*

Guna mengetahui hasil yang optimal pada perancangan *road bike frame* menggunakan Solidworks 2017, dilakukan simulasi statis pada rangka sepeda. Spesifikasi ukuran dimensi hasil perancangan *road bike frame* menggunakan *software* Solidwors 2017 ditunjukkan pada Tabel 6.

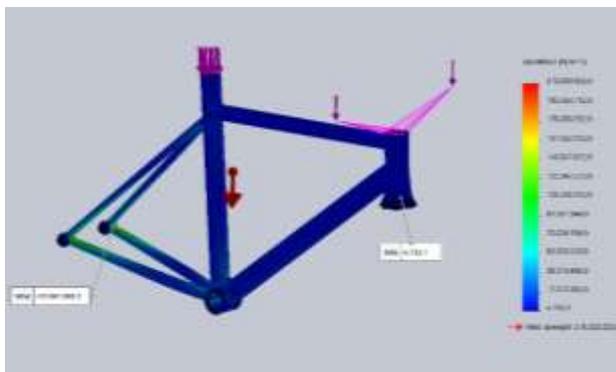
Tabel 6. Spesifikasi ukuran dimensi *road bike frame*

Section	Description	dimension
A	Seat Tube Length	530 mm
B	Top Tube Effective	550 mm
C	Head Tube Length	150 mm
D	Bottom Tube Length	662 mm
E	Chain Stay	410 mm
F	Seat Tube Angle	74,50°
G	Diameter BB	50 mm
H	Diameter Drop out	23 mm
I	Wheelbase	922 mm

F. Hasil Simulasi Rangka Sepeda

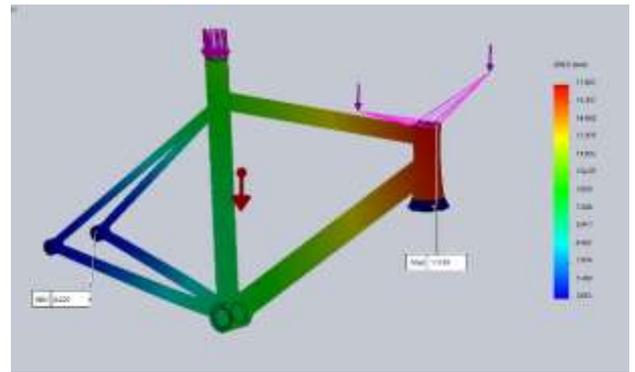
Simulasi *Von Misses Stress*

Simulasi *von misses stress* pada *road bike frame* dengan aluminium 6063 didapatkan nilai *yield strength* 215 MPa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat rangka sepeda terjadi pembebanan sebesar 80 kg, tegangan didapatkan nilai maksimalnya 210 MPa pada bagian *rear drop out* ditandai dengan warna degradasi merah dan orange ditunjukkan pada Gambar 15, maka dapat disimpulkan rangka aman dengan pembebanan sebesar 80 kg

**Gambar 15.** Hasil simulasi *von misses stress* pada rangka sepeda

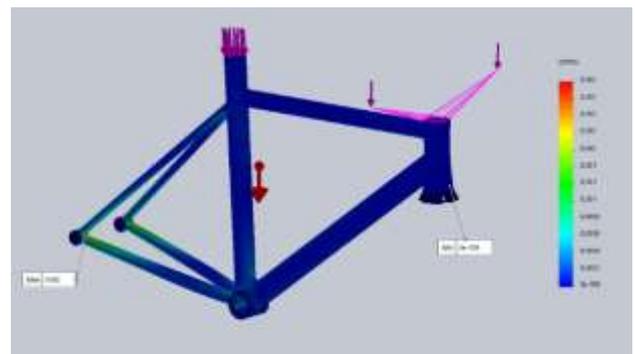
Simulasi *Displacement*

Simulasi *displacement* pada *road bike frame* dengan pembebanan sebesar 80 kg ditunjukkan pada Gambar 16. Hasil simulasi menunjukkan deformasi maksimal yang terjadi sebesar 17,839 mm dan deformasi minimal yang terjadi sebesar 0,001 mm. Deformasi maksimal yang terjadi di rangka sepeda pada bagian atas *head tube* ditunjukkan pada gambar terjadi degradasi warna merah.

**Gambar 16.** Hasil simulasi *displacement* pada rangka sepeda

Simulasi *Strain*

Simulasi *strain* pada *road bike frame* dengan beban 80 kg ditunjukkan Gambar 17. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangka terjadi regangan maksimal sebesar 0,002% ditunjukkan dengan degradasi warna merah dan orange pada bagian *rear drop out* rangka sepeda. Dari nilai regangan maksimal yang dihasilkan rangka sepeda bisa dikatakan aman karena tidak terjadi regangan yang berlebihan ketika dilakukan pembebanan.

**Gambar 17.** Hasil simulasi *strain* pada rangka sepeda

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dari penelitian tentang material aluminium 6063 paduan Al-Mg-Si setelah dilakukan proses optimalisasi perlakuan panas dengan memberikan tahapan-tahapan *precipitation hardening* untuk diaplikasikan pada perancangan *road bike frame*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian komposisi kimia menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada penelitian ini didapatkan aluminium 6063 mempunyai kandungan aluminium murni sebesar 94,279%, magnesium 2,254%, silikon 2,087%, besi 0,664%, dan mangan 0,478% serta terdapat beberapa unsur penunjang lainnya seperti *chromium*, nikel, tembaga, dan *titanium* yang mempunyai kandungan tidak lebih dari 0,1%.
2. Pada hasil perlakuan panas menggunakan proses *Precipitation Hardening* yang telah dilakukan pada aluminium 6063 (Al-Mg-Si) menunjukkan bahwasanya

- aluminium 6063 ini mampu dan layak untuk dijadikan bahan pembuatan rangka (*frame*) sepeda.
3. Terjadi kenaikan nilai tegangan tarik setelah aluminium dilakukan proses panas. Nilai tegangan tarik benda uji tanpa perlakuan panas dihasilkan sebesar 99 MPa. Nilai tegangan tarik pada proses *artificial aging* dengan temperatur 155°C dan waktu penahanan selama 8 jam dihasilkan sebesar 199 MPa dan pada *artificial aging* dengan temperatur 175°C dan waktu penahanan selama 8 jam dihasilkan sebesar 123 MPa.
 4. Pengaruh peningkatan atau penurunan nilai tegangan tarik berkaitan dengan terbentuknya butir presipitasi Mg₂Si dalam proses *Heat Treatment*. Jumlah butir presipitasi Mg₂Si semakin banyak dan halus cenderung akan semakin banyak batas butir. Presipitasi Mg₂Si yang banyak dan tersebar merata pada batas butir dapat menahan laju gerakan dislokasi dapat meningkatkan sifat mekanis menjadi lebih keras.
 5. Perancangan rangka sepeda menggunakan *software Solidworks 2017*, hasil simulasi yang dilakukan pada rangka sepeda dengan beban yang diberikan sebesar 80 kg didapatkan nilai tegangan maksimalnya 210 MPa, nilai deformasi maksimal yang terjadi sebesar 17,839 mm, dan regangan maksimal sebesar 0.002%.

REFERENSI

- [1] C. C., Lin, Huang, S. J., & Liu, C. C. Structural analysis and optimization of bicycle frame designs. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(12), 2017, 1–10.
- [2] Razzaq, A. M., Majid, D. L., Ishak, M. R., & Basheer, U. M. Effect of fly ash addition on the physical and mechanical properties of AA6063 alloy reinforcement. *Metals*, 7(11), 2017, 1–15.
- [3] Nugraha, A. W., & Agustia, R. D. Pembangunan aplikasi rekomendasi perakitan sepeda berdasarkan bentuk tubuh pengendara dalam simulasi 3D. *Teknik Informatika*, 2016, 1–8.
- [4] Batan, I. M. L. Geometri rangka sepeda yang ergonomis dan efisien (studi kasus pengembangan sepeda untuk berbagai bentuk dan ukuran tubuh pengendara). *Seminar Nasional Teknik Mesin VII*, 2(16), 2008, 1–9.
- [5] Nofri, M. Analisis perubahan sifat mekanik aluminium 6063 setelah dilakukan heat treatment pada temperatur tetap dengan waktu tahan bervariasi. *Bina Teknika*, 16(1), 2020, 35–42.
- [6] Prach, O., Hornik, J., & Mykhalenkov, K. Effect of the addition of Li on the structure and mechanical properties of hypoeutectic Al-Mg₂Si alloys. *Acta Polytechnica*, 55(4), 2015, 253–259.
- [7] Surdia, T., dan Shinroku Saito. Pengetahuan bahan teknik, Jakarta. 1992.
- [8] Imran, A. I., Samhuddin, S., Salimin, S., & Hasanuddin, L. Perancangan, Analisa dan simulasi rangka sepeda listrik untuk masyarakat perkotaan. *DINAMIKA: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(2), 2018, 0–6.
- [9] Jamaludin, Hartono, P., & Lesmanah. Perencanaan pembebanan statis rangka sepeda listrik menggunakan software solidworks 2016. *Teknik Mesin*, 53(9), 2019, 1–7.