



**PENGARUH KOMPOSISI MAGNESIUM (Mg),
MANGAN (Mn) DAN SILIKON (Si) PADA METODE
STIR CASTING TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO ALUMINIUM**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

Agus Setiyawan

NIM. 5201414043

PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019



**PENGARUH KOMPOSISI MAGNESIUM (Mg),
MANGAN (Mn) DAN SILIKON (Si) PADA METODE
STIR CASTING TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO ALUMINIUM**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

Agus Setiyawan

NIM. 5201414043

PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

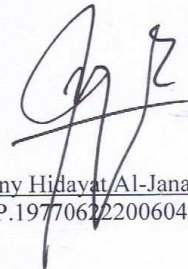
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama: Agus Setiyawan
NIM: 5201414043
Program Studi: Pendidikan Teknik Mesin
Judul: PENGARUH KOMPOSISI MAGNESIUM (Mg),
MANGAN (Mn) DAN SILIKON (Si) PADA
METODE *STIR CASTING* TERHADAP NILAI
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO
ALUMINIUM

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan sidang skripsi. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negri Semarang.

Semarang, Desember 2019

Pembimbing



Dony Hidayat Al-Janani ST, MT, Ph.D.
NIP.197706222006041001

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul “PENGARUH KOMPOSISI MAGNESIUM (Mg), MANGAN (Mn) DAN SILIKON (Si) PADA METODE *STIR CASTING* TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO ALUMINIUM” telah diajukan didepan Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 19 Bulan Desember Tahun 2019.

Oleh:

Nama: Agus Setiyawan
NIM: 5201414043
Program Studi: Pendidikan Teknik Mesin S1

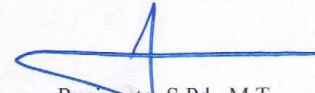
Panitia:

Ketua



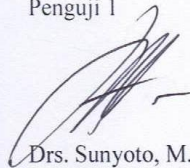
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP.197403211999031002

Panitia Sekertaris



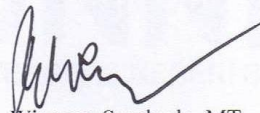
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP.197403211999031002

Penguji 1



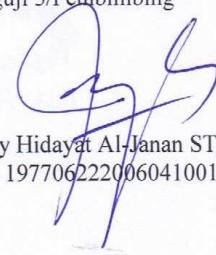
Drs. Sunyoto, M.Si.
NIP. 196511051991021001

Penguji 2



Dr. Wirawan Sumbodo, MT.
NIP. 196601051990021002

Penguji 3/Pembimbing



Dony Hidayat Al-Janan ST, MT, Ph.D.
NIP. 197706222006041001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP.196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana di Universitas Negri Semarang (UNNES).
2. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas ducantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini.

Semarang, Desember 2019
Yang membuat pernyataan,



Agus Setiyawan
NIM. 5201414043

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“ Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua.” – Aristoteles.

PERSEMBAHAN

Tanpa mengurangi rasa syukur kepada Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan teruntuk :

- ❖ Kedua orang tua saya, Bapak Sugiyono dan Ibu Tumariyati yang selalu memberikan doa, dukungan dan motivasi.
- ❖ Kakak saya Purwanti dan Adik saya Olyvia Febriyanti yang selalu memberikan semangat bagi saya.
- ❖ Sahabat dan teman-teman saya yang telah memberikan banyak bantuan dan dukungan kepada saya.

RINGKASAN

Agus Setiyawan. 2019. Pengaruh komposisi magnesium (Mg), mangan (Mn) dan silikon (Si) pada metode *stir casting* terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro aluminium. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing: Dony Hidayat Al-Janan ST, MT, Ph.D.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh paduan unsur magnesium (15%), unsur mangan (2%), unsur silikon (5%) terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada aluminium. Proses pengecoran paduan aluminium dilakukan dengan suhu 700°C dengan putaran *stir casting* sebesar 300 rpm selama 100 menit tiap proses peleburan spesimen. Penelitian ini dilakukan pada spesimen aluminium dengan nilai kekerasan *raw material* nya sebesar 83,6 VHN. Paduan unsur magnesium 15%, mangan 2%, silikon 5% dan aluminium 78% menghasilkan nilai kekerasan 157 VHN. Pengamatan uji struktur mikro dengan unsur paduan paduan aluminium yang dicor dengan metode *stir casting*, dengan paduan magnesium (Mg) 15%, mangan (Mn) 2%, silikon (Si) 5% memiliki distribusi dan bentuk struktur butiran fasa aluminium paduan yang cenderung menggumpal dengan ukuran butiran lebih kecil hambatan korosinya dan jarak antar butirnya mengelompok.

Kata Kunci: *Stir casting*, Nilai Kekerasan, Struktur Mikro.

PRAKATA

Segala puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Skripsi dengan judul “**Pengaruh Komposisi Magnesium (Mg), Mangan (Mn) Dan Silikon (Si) Pada Metode *Stir Casting* Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Aluminium**”. Proposal Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan seraih gelar Sarjana Pendidikan Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Salawat serta salam tak lupa disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua diberi dan mendapatkan syafa’at Nya di yaumul akhir nanti, amin.

Penulisan karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM. Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S. Pd., M. T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Rusiyanto, S. Pd., M. T., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dony Hidayat Al-Janan, ST, MT, Ph.D., Dosen Pembimbing yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ilmiah ini.

4. Drs. Sunyoto, M.Si., Dosen Penguji 1 (satu) dan Dr. Wirawan Sumbodo, M.T., Dosen Penguji 2 (dua) yang telah memberikan arahan, masukan, pengawasan dan saran untuk penulisan karya ilmiah ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNNES yang telah memberikan ilmu dan bekal pengetahuan yang berharga.
6. Semua pihak yang memberi bantuan karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga proposal skripsi ini dapat bermanfaat dan membantu kelancaran penelitian yang akan dilaksanakan.

Semarang, 26 Maret 2019

Penulis

Agus Setiyawan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN KELULUSAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah.....	6
1.5 Tujuan Penelitian	7
1.6 Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
2.1 Kajian Pustaka	9

2.2 Landasan Teori	13
2.2.1 Aluminium	13
2.2.2 Bahan dan Sifat Aluminium.....	17
2.2.3 Uji Kekerasan.....	20
2.2.4 Uji Struktur Mikro.....	23
2.2.5 Proses Stir Casting	26
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	27
3.1.1 Waktu Penelitian	27
3.1.2 Tempat Penelitian	27
3.2 Desain Penelitian	27
3.2.1 Metode Penelitian	27
3.2.2 Diagram Alir Penelitian.....	30
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.3.1 Alat Penelitian	32
3.3.2 Bahan Penelitian dan Spesimen	32
3.4 Variabel Penelitian	33
3.5 Teknik Pengumpulan Data	34
3.6 Kalibrasi Instrumen	37
3.7 Teknik Analisis Data	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Deskripsi Data	39

4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Metode <i>Vickers</i>	40
4.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro	43
4.4 Pembahasan	44
4.4.1 Nilai Kekerasan	44
4.4.2 Struktur Mikro	46
BAB V PENUTUP	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh kekuatan tarik paduan unsur Mangan (Mn)	16
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Aluminium.....	17
Tabel 2.3 Sifat Fisik Aluminium.....	18
Tabel 2.4 Tabel standar pengujian <i>Vickers</i>	22
Tabel 3.4 Komposisi unsur	28
Tabel 3.5 Parameter Penelitian	35
Tabel 3.6 Parameter Pengujian Foto Struktur Mikro.....	37
Tabel 4.7 Hasil data pengujian kekerasan metode <i>Vickers</i>	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema pengujian <i>Vickers</i>	21
Gambar 2.2 Foto mikro <i>raw material</i> aluminium cor pada Al-Si.....	23
Gambar 2.3. Foto mikro aluminium cor penambahan Mg 1% pada Al-Si	23
Gambar 2.4. Foto mikro aluminium cor penambahan Mg 4% pada Al-Si	24
Gambar 2.5. Tungku <i>Stir casting</i>	26
Gambar 3.6 Spesimen	32
Gambar 4.7 Pengujian Kekerasan	40
Gambar 4.8 Pengujian Mikro Struktur	41
Gambar 4.9 Hasil Uji Kekerasan	43
Gambar 4.10 Hasil foto struktur mikro paduan 5%, 2%, 5% perbesaran 100x	44
Gambar 4.11 Hasil foto struktur mikro paduan 10%, 2%, 5% perbesaran 100x ..	45
Gambar 4.12 Hasil foto struktur mikro paduan 15%, 2%, 5% perbesaran 100x ..	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengujian Kekerasan Metode Vickers	52
Lampiran 2. Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi.....	53
Lampiran 3. Proses Pembuatan Cetakan Spesimen	54
Lampiran 4. Proses Pengecoran Metode <i>Stir Casting</i>	54
Lampiran 5. Komposisi Bahan.....	55
Lampiran 6. Pengujian Kekerasan Metode <i>Vickers</i>	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Upaya peningkatan kebutuhan barang-barang produksi pada era sekarang dengan kebutuhan dan permintaan yang menuntut kualitas barang yang lebih dengan seiringnya kemajuan teknologi masa sekarang. Dengan demikian para ahli teknik melakukan upaya berbagai penelitian meningkatkan hasil produksi salah satunya berupa pengolahan logam dengan proses melalui pengecoran maupun produksi, hingga saat ini banyak dimanfaatkan sebagai elemen produksi yang digunakan. Bahan teknik dapat dikelompokkan dalam kelompok logam, bukan logam dan komposit. Hal ini dapat disebutkan sebagai kelompok secara teknisnya. Bahan logam dapat dipaparkan menjadi dua bagian, yakni logam besi (*ferro*) dan bukan besi (*non ferro*). Logam bukan besi (*non ferro*) yakni logam yang tidak mengandung unsur besi, misalnya aluminium tembaga, seng, timah, magnesium, nikel, mangan, silikon dan lain sebagainya.

Pemanfaatan aluminium dimasa mendatang masih terbuka luas sebagai komponen utama maupun komponen pendukung yang bijih aluminiumnya tersedia di bumi yang masih melimpah. Aluminium merupakan material logam *non ferro* yang bahan utamanya yaitu bauksit dan kreolit, dengan melalui *buyar* yang didapat tanah tawas direduksi menghasilkan aluminium elektrolisa. Secara luas aluminium lebih

ekonomis dibanding bahan baku teknik lainnya, sehingga penggunaannya terus meningkat dari tahun-ketahun.

Aluminium dalam keadaan murni terlalu lunak, terutama kekerasannya untuk dapat difungsikan sebagai keperluan teknik. Logam aluminium memiliki sifat mekanis yaitu sifat kekuatan tarik, kekerasan, *ductility* (kelenturan), *recyclability* (daya untuk daur ulang) dan *reflectivity* (daya pemantulan). Namun logam aluminium untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik, biasanya paduan komponen aluminium ditambahkan penguat paduan berupa unsur sebagai pelengkap sifat dasar komponen hingga mendapatkan hasil aluminium paduan yang diinginkan. Proses pengecoran ulang yang dilakukan pada aluminium akan memberikan peningkatan nilai kekerasan dan struktur mikronya. Proses pembentukan paduan aluminium pada umumnya dapat dilakukan dengan pengadukan secara manual. Tetapi hal ini dapat menghambat proses homogenisasi terhadap unsur pada paduan aluminium dan juga membatasi persentase penambahan unsur yang mampu mengikat paduan aluminium, dengan ini maka digunakan cara metode *stir casting* yang dapat berpengaruh hasil dari pengecoran paduan tersebut. *Stir casting* yaitu sebagian dari proses pembentukan komposit aluminium dengan kondisi cair menggunakan pengaduk yang dilakukan dengan temperatur lebih tinggi di atas dari temperatur lebur aluminium.

Unsur paduan aluminium yang sering ditambahkan logam aluminium yaitu magnesium (Mg), mangan (Mn), tembaga (Cu), silikon (Si), nikel (Ni) dan lain sebagainya. Beberapa jenis paduan aluminium dapat diklasifikasikan menjadi

beberapa jenis yakni: Al-murni, jenis Al-Cu, jenis Al-Cu-Si, jenis Al-Si, jenis Al-Si-Mg, jenis Al-Mg, jenis paduan Al tahan panas, dll. Penambahan unsur magnesium (Mg), mangan (Mn) dan silikon (Si) akan meningkatkan kekuatan, kekerasan, konduktivitas listriknya yang baik dan nilai struktur mikronya tidak harus menurunkan nilai kegetasannya. Level keuletan aluminium dapat dipastikan dengan level nilai unsur penambah yang dikombinasikan, pengaruh ukuran butir merupakan bagian terpenting sebab variabel besar kecilnya unsur akan mendapatkan keuletan mekanik paduan logam tersebut (Cholis, 2013: 1).

Unsur magnesium (Mg) merupakan unsur yang sering digunakan dalam pengecoran logam aluminium. Keunggulan magnesium (Mg) sebagai paduan dalam pengecoran aluminium yaitu menambah tingkat keuletan dan kegetasan pada aluminium. Unsur ini diproduksi dengan dua metode, proses reduksi elektrolisis (*magnetherm*) dan proses reduksi termis (*pidgeon process*) dengan bahan berasal dari *dolomit*. Magnalium sering disebut sebagai bahan zat campuran dalam pembuatan campuran aluminium-magnesium. Massa jenis nilai yang rendah dengan kekuatan yang terdapat pada magnesium merupakan sebuah kelebihan dari penggunaan unsur ini dalam paduan yang dibentuk.

Paduan dengan unsur mangan (Mn) sebagai komposisi minimal supaya paduan membentuk fasa austenit seluruhnya. Berbagai penelitian telah menghasilkan bahwa unsur (Mn) berpotensi sebagai unsur penyeimbang yang berpengaruh pada sifat mekaniknya dan sebagai penyeimbang austenite yang baik, sehingga hal tersebut

dapat berpengaruh meningkatkan kekerasan dan ketahanan ausnya. Beberapa referensi menyatakan bahwa unsur mangan merupakan unsur yang berpengaruh dengan nilai kekerasan secara signifikan dan lebih efektif (Syaifi'udin: 2016: 62).

Aluminium paduan dengan penambahan unsur silikon (Si) mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap ketahanan korosi, karena silikon mempunyai karakteristik yang baik yaitu kecairannya, memiliki kegetasan panas, hasil permukaan halus dan sangat baik dengan paduan pengecoran. Karakteristik silikon yang memiliki sifat penghantar listrik yang baik ini juga dimanfaatkan sebagai aplikasi rekayasa laut, aplikasi aerospace, rekayasa instrumen dan auto mobile sehingga hal ini sering dipakai sebagai cor cetak dari elemen kebutuhan teknik (Surdia, 2000).

Proses penggunaan berbagai macam cetakan berpengaruh terhadap kualitas dan ketelitian yang tinggi, sehingga dihasilkan hasil pengecoran yang dapat meningkatkan sifat mekanik paduan logam yang dicor saat proses pengecoran. Ditinjau dari bahan cetakan yang tepat digunakan yaitu jenis cetakan permanen dan cetakan pasir.

Berdasarkan uraian diatas, akan dilakukan penelitian dengan proses pengecoran menggunakan metode *stir casting* dengan penambahan berbagai variasi unsur, dengan judul “Pengaruh Komposisi Magnesium (Mg), Mangan (Mn) Dan Silikon (Si) pada Metode *Stir Casing* Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Aluminium”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka didapatkan beberapa inti permasalahan yang muncul dalam penelitian ini, meliputi:

1. Aluminium kurang memiliki nilai sifat mekanik kekerasan yang baik.
2. Komposisi unsur penguat dengan aluminium berpengaruh terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro yang terbentuk
3. Pencampuran unsur pada proses pengecoran aluminium memiliki tingkat homogen distribusi yang kecil.
4. Hasil pengecoran aluminium dengan penambahan unsur magnesium, mangan dan silikon berpengaruh pada hasil.

1.3 Pembatasan Masalah

Adanya beberapa pokok permasalahan yang muncul, maka dalam penelitian ini akan dibatasi beberapa batasan penelitian antara lain sebagai berikut:

1. Unsur penguat yang ditambahkan adalah magnesium, mangan dan silikon berupa ingot batangan yang berpengaruh pada peningkatan nilai kekerasan.
2. Penambahan tiga unsur penguat yang akan dipisahkan dengan tiga variasi yaitu paduan Aluminium Magnesium Mangan Silikon (Al – Mg – Mn – Si) dengan penambahan magnesium (Mg) (5%, 10%, 15%), mangan (Mn)

(1%, 1,5%, 2%), silikon (Si) (1%, 3%, 5%) terhadap sifat mekanis dan fisis untuk mengetahui jumlah komposisi yang paling baik.

3. Proses pengecoran logam menggunakan metode *stir casting* untuk meningkatkan homogen unsur yang dicampur.
4. Pengujian nilai kekerasan yang digunakan adalah *micro vikors* kekerasan *test*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakaang diatas, maka perumusan masalah yang dibahas dalam penelitian antara lain:

1. Bagaimana pengaruh pengecoran menggunakan metode *stir casting* dengan penambahan unsur magnesium, mangan dan silikon terhadap nilai kekerasan?
2. Bagaimana pengaruh pengecoran menggunakan metode *stir casting* dengan penambahan unsur magnesium, mangan dan silikon terhadap struktur mikro?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian diantaranya adalah:

1. Mengetahui pengaruh pengecoran menggunakan metode *stir casting* dengan penambahan unsur magnesium, mangan dan silikon terhadap nilai kekerasan.
2. Mengetahui pengaruh pengecoran menggunakan metode *stir casting* dengan penambahan unsur magnesium, mangan dan silikon terhadap struktur mikro yang terbentuk.

1.6 Manfaat Penelitian

1. Secara Teoritis

Setelah mengetahui karakteristik hasil pengecoran yang mencakup nilai kekerasan dan struktur mikro pada spesimen hasil peleburan aluminium, diharapkan memberikan pengetahuan tentang kelebihan dan kinerja dari aluminium yang disesuaikan dengan penggunaan.

2. Secara Praktis

- a. Dapat menganalisa secara langsung pengaruh penambahan unsur magnesium (Mg), unsur mangan (Mn) dan silikon (Si) pada hasil pengecoran aluminium terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro nya.

- b. Mampu memberikan pertimbangan untuk menambah komponen penguat dalam proses pengecoran logam aluminium sehingga menghasilkan produk yang baik.
- c. Sebagai bahan masukan dibidang industri pengolahan bahan dan pengecoran logam dalam menentukan persentase unsur yang tepat pada aluminium cor dengan metode *stir casting*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang pengaruh variasi penambahan unsur dengan metode *stir casting* terhadap aluminium telah dilakukan oleh peneliti-peneliti lain dengan variabel-variabel terikat yang berbeda:

Peningkatan paduan unsur magnesium kepada nilai kekuatan impact, kekerasan dan struktur mikro aluminium yang menghasilkan level kekerasan terhadap pengecoran penambahan unsur magnesium sebesar 0% (raw material), 1% dan 4% yang menghasilkan pengujian berturut-turut sebesar 75.9 gf/mm², 80.4 gf/mm², 86.2 gf/mm². Adapun pengaruh peningkatan unsur magnesium kepada ukuran butir pengecoran aluminium, dengan menambahkan lebih banyak unsur magnesium maka ukuran butir semakin menurun dan hasilnya lebih baik (El-Karomi, *et al.*, 2016: 5).

Penelitian yang berjudul pengaruh pengecoran menggunakan metode *stir casting* dengan penambahan magnesium terhadap cacat coran, nilai kekerasan dan struktur mikro yang dilakukan oleh Zulfahmi, (2017: 1), menghasilkan nilai kekerasan tertinggi pada variasi ketiga dengan penambahan magnesium sebanyak 15% dengan nilai VHN 138,8 gf/μm². Struktur mikro yang tampak mengalami peningkatan luas daerah aluminium yang terdispersi dengan magnesium.

Setia, *et al.*, (2016: 6) melakukan penelitian tentang penambahan unsur magnesium yang berpengaruh kepada tingkat kekerasan dan mikro struktur dengan

hasil pengujian ketangguhan terhadap bahan aluminium velg pada mobil. Penambahan unsur magnesium dengan variasi penambahan 2% dan 5% paduan yang dilakukan menghasilkan tingkat kekuatan yang paling signifikan dan nilai mikro strukturnya aluminiumnya memiliki ukuran butir yang lebih besar dibandingkan dengan paduan aluminium yang ditambahkan unsur magnesium sebesar 2% dan 5% serta penambahan unsur magnesium ini dikatakan hasilnya yang lebih baik yakni dengan paduan 2% karena memiliki hasil kekerasan yang cukup tinggi dan signifikan.

Pengaruh peningkatan unsur magnesium yang menghasilkan meningkatnya nilai kekerasan pada setiap paduan aluminium dan menghasilkan nilai mikro struktur yang ukuran butirnya semakin halus atau kecil. Karena semakin banyak nilai paduan unsur magnesium yang ditambahkan maka semakin bertambah keras pula paduan aluminium yang diuji dan berpengaruh pada hasil foto struktur mikro paduan aluminium. Hal ini dapat dilihat pada hasil pengujian yang dilakukan dan hasil foto struktur mikronya pada setiap spesimen paduan aluminium (Cholis, *et al.*, 2013: 1).

Hay dan Firdaus (2013: 1) penelitian dengan judul penambahan unsur mangan dalam paduan aluminium silikon sebagai upaya pencegahan terjadinya pelengketan material pada baja cetakan H13 tentang penambahan unsur mangan dalam paduan aluminium salah satu penggunaan aluminium silikon dalam proses pengecoan yang menghasilkan penambahan unsur mangan sebesar 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% pada temperatur 700° menghasilkan lapisan intermetalik.

Penelitian dengan judul “Pengaruh Penambahan Mangan Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium A7075” yaitu menghasilkan kesimpulan batas optimal

peningkatan unsur Mangan dapat meningkatkan hasil nilai kekerasan yaitu dengan penambahan 1,0 %wt Mangan sebesar 196,43 gf/mm². Peningkatan unsur Mangan pada paduan Aluminium A7075 menghasilkan penyusutan kekuatan tariknya, (Adril, *et al.*, 2010: 1).

Penelitian tentang pengaruh unsur mangan (Mn) terhadap mikro struktur dan kekerasan paduan baja yang menghasilkan peningkatan unsur mangan pada baha paduan Fe-17Cr-xMn menyusutkan hasil fasa ferit dan meningkatkan fasa austenit. Peningkatan unsur mangan terhadap baja paduan Fe17Cr-14Mn dengan penambahan 10.7% menghasilkan nilai kekerasan tertinggi yaitu 247.64 HB, (Syafi'udin., 2016: 4).

Ponco (2016: 56) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Silikon Pada Aluminium Alloy (Al-Si) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro” menghasilkan dengan penambahan unsur silikon pada paduan AlSi maka didapat hasil nilai ketangguhan impactnya ikut bertambah. Untuk pengujian kekerasan mikro, hasil yang didapatkan adalah sesuai dengan penambahan unsur silikon pada paduan AlSi maka terjadi juga penambahan tingkat kekerasan. Dari pengamatan pada ketiga spesimen, terbentuk beberapa fasa yang dapat diambil, antara lain : fasa Aluminium berwarna terang dan fasa Silikon berwarna gelap. Dari penelitian yang dilakukan dengan variasi komposisi 6%, 8%, 10% pada paduan AlSi maka hasil yang didapat adalah nilai ketangguhan berbanding tegak lurus dengan jumlah persentase silikon.

Bahtiar dan Soemardji (2012: 315) yang meneliti tentang pengaruh temperatur tuang dan kandungan silikon terhadap nilai kekerasan menghasilkan penambahan

paduan unsur silikon menghasilkan peningkatan nilai kekerasan paduan Al-Si. Penambahan jumlah kandungan silikon berpengaruh pada fluiditas logam cair yang makin meningkat yang berpengaruh dengan nilai kekerasan. Kekerasan produk pengecoran juga dapat dipengaruhi dengan peningkatan temperatur tuang yang signifikan.

Uji Impak terhadap standar ASTM E23 metode Charpy guna untuk memperoleh nilai ketangguhan material paduan Al-Si dan Uji Kekerasan dengan metode Brinell untuk menghasilkan nilai ketahanan material atau nilai BHN (*Brinell Hardness Number*). Dari hasil pengujian ini di peroleh nilai ketangguhan dengan harga Impak yang paling baik adalah paduan Al-Si 90-10 dengan 294,25 J/m², dan nilai energi yang di serap yang menunjukkan nilai terbaik adalah paduan Al-Si 90-10 sebesar 1,294 J , dan uji Kekerasan menunjukkan nilai BHN yang paling tinggi adalah paduan Al-Si 90-10 dengan nilai sebesar 100 BHN (Priyongko, 2008: 1).

Penelitian yang dilakukan (Wilastari, *et al.*, 2011) tentang densitas dan porositas pada Al- SiC yang dihasilkan dalam proses pengecoran dengan metode stir casting dengan variasi putaran 300, 500 dan 700 rpm dengan lama waktu pengadukan 10 menit menghasilkan densitas Al-SiC untuk semua variasi putaran, lebih rendah dari besi cor yaitu 2,75; 2,69 dan 2,66 g/cm³, itu artinya putaran yang paling rendah dianjurkan untuk mengurangi porositas dan densitas.

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan peneliti-peneliti sebelumnya, maka kami yakin bahwa variabel bebas yaitu variasi penahanan unsur magnesium, mangan

dan silikon yang merubah variabel terikat yaitu nilai kekerasan dan struktur mikro pada material aluminium komponen tutup motor listrik.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Aluminium

Aluminium ditemukan oleh Hans Cristian Oested pada tahun 1825, dan diklaim secara pasti oleh F. Wohler pada tahun 1872 (Surdia dan Chijiwa: 2000: 52). Aluminium biasanya dimanfaatkan untuk kebutuhan komponen mesin, paduan logam pada kapal, kerangka pesawat, automobile, dan beberapa kebutuhan alat rumah tangga. Bijih utama aluminium adalah bauksit, yang sumber ini jarang terdapat bebas. Senyawa pada aluminium juga dimanfaatkan sebagai senyawa penjernih air, campuran bahan pewarna, campuran cat serta fotografi, permata sintetis dan bahan material amplas.

Aluminium murni yaitu logam lunak, ringan, dapat bertahan lama dan mudah dibentuk dengan hasil tampilan luarnya bermacam-macam antara penekanan sampai abu-abu, berdasarkan kekerasan dasarnya. Aluminium memiliki uji ketangguhan tarik bernilai 90Mpa dan berat aluminium kira-kira satu pertiga baja, pengerjaannya mudah dibentuk dengan mesin, mudah ditekuk, dicor, diekstrusi dan diuji tarik (drawing). Hasil bentuk lapisan aluminium oksida ketika aluminium terpapar dengan udara bebas terjadi tesistensi rethadap korosi yang terjadi akibat fenomena pasivasi. Lapisan aluminium oksida ini bertujuan untuk pencegahan terjadinya oksidasi berkelanjutan.

Aluminium bereaksi galvanik jika ditambahkan dengan paduan tembaga yang menghasilkan tahan terhadap korosi (Surdia dan Chijiwa: 2000: 86).

Aluminium terlalu lunak jika dalam keadaan murni, yaitu kekuatan yang sangat rendah jika dimanfaatkan sebagai komponen teknik. Maka demikian dilakukan pepaduan aluminium dengan unsur sebagai penguat yang bertujuan untuk memperbaiki keadaan tersebut, namun tidak mesti baik dalam ketahanan korosi yang berkurang juga dengan keuletannya.

Menurut Surdia dan Chijiwa (2000: 117) pengaruh unsur-unsur paduan yang dapat memperbaiki sifat aluminium adalah:

1. Tembaga (Cu)

Penambahan unsur tembaga menghasilkan peningkatan nilai kekerasan dan kekuatan terhadap aluminium, karena tembaga dapat memperhalus butiran strukturnya dan memiliki kualitas pembentukan mesin yang mudah dan baik, mudah ditempa, memperbaiki keuletannya dan mudah dibentuk.

2. Seng (Zn)

Penambahan unsur Seng Zn berpengaruh pada peningkatan sifat dari mekanik pada perlakuan panas dan kemampuan mesin. Penambahan unsur Seng pada umumnya bersamaan dengan unsur tembaga, tetapi dalam persentase yang kecil atau sedikit.

3. Silikon (Si)

Penambahan unsur silikon ini mempunyai ketahanan terhadap necking, sehingga unsur silikon berpengaruh terhadap peningkatan daya kelenturan/

ductility meskipun tidak ditambahkan dengan unsur lainnya terhadap paduan aluminium. Jika selama aluminium ditambahkan unsur silikon maka akan mempunyai kelenturan yang tinggi setelah diperlakukan pengujian, namun silikon memiliki kualitas pengerjaan mesin yang kurang baik, selain itu juga memiliki ketangguhan koefisien panas yang rendah.

4. Nikel (Ni)

Dengan penambahan unsur nikel aluminium mampu bekerja pada temperatur yang tinggi, seperti contoh silinder hade dan piston pada motor.

5. Magnesium (Mg)

Penambahan unsur magnesium ini berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekerasan dan dapat menghambat terjadinya deformasi yang berpengaruh pada bahan yang diaplikasikan dengan suatu gaya, serta hasil kualitas pengerjaan mesin yang baik, memiliki kekuatan yang cukup terhadap paduan aluminium.

6. Mangan (Mn)

Penambahan unsur mangan terhadap aluminium dapat menghasilkan mudah dibentuk, tahan terhadap korosi serta memiliki sifat dan mampu lasnya yang baik. Penambahan unsur mangan (Mn) mempengaruhi bentuk struktur seperti jarum tersebut tidaklah runcing, salah satu penyebab yang dapat disampaikan disini adalah paduan tersebut dapat mengandung unsur mangan (Mn) yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan paduan terhadap suhu

tinggi yang berarti aluminium masih dapat berfungsi dengan baik pada saat keadaan panas.

Tabel 2.1 Contoh kekuatan tarik paduan unsur Mangan (Mn), (Nindhia: 2011).

Mangan (Mn)	Rata-rata 350° (Mpa)	Standar deviasi (Mpa)
0.04 %	67.07	0.115
0.15 %	75.62	0.660
0.23 %	69.67	0.213
0.31 %	63.72	1.170
0.40 %	71.92	0.556

7. *Ferro* (Fe)

Penambahan *ferro* bermaksud guna mengurangi penyusutan, namun penambahan unsur yang banyak juga akan mengakibatkan struktur hasil perubahan butirnya yang kasar, hal ini dapat diperbaiki dengan menambahkan unsur magnesium dan tembaga.

8. Titanium (Ti)

Dapat berpengaruh pada butirnya yang halus terhadap paduan aluminium. Umumnya penambahan dikalukan bersama dengan Cu dalam persentase 0.01%, titanium juga berpengaruh pada peningkatan mampu mesin yang baik.

2.2.2 Bahan dan Sifat Aluminium

Aluminium yang digunakan merupakan aluminium murni dengan komposisi kimia yang telah diketahui sebelumnya. Tabel 2.2 merupakan tabel komposisi kimia dari aluminium yang digunakan.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Aluminium (Cholis, *et al.*, 2013: 1).

Unsur	Persentase kandungan (%)
Al	97.93
Si	0.805
Fe	0.858
Cu	<0.0500
Mn	0.0363
Mg	<0.0500
Cr	<0.0150
Ni	0.0629
Zn	<0.0100
Sn	<0.0500
Ti	0.0120
Pb	0.0494
Be	0.0001
Ca	0.0394
Sr	<0.0005
V	0.0104
Zr	0.0255

Aluminium biasa dikenal dengan komponen bahan teknik yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga mempunyai sifat teknik bahan aluminium murni dan aluminium kombinasi dapat berpengaruh pada konsentrasi bahan dan perlakuan terhadap bahan paduan tersebut. Dengan sifat yang tahan terhadap korosi ini disebabkan adanya fenomena pasivasi, yakni pengaruh terbentuknya lapisan dipermukaan aluminium setelah terpapar dengan udara luar disebut lapisan oksida yang sering digunakan untuk menangkal oksidasi lebih jauh. Tetapi pasivasi dapat menjalar jika dikombinasi dengan bahan yang mempunyai sifat lebih katodik, karena

dapat menangkal oksidasi aluminium. Sifat aluminium memiliki sifat antara lain sifat fisik dan mekanik.

Tabel 2.3 Sifat fisik aluminium, (Majanastra: 2016).

Nama, Simbol dan Nomor	Aluminium, Al, 13
Wujud	Padat
Massa jenis	2,70 gram/cm ³
Massa jenis pada wujud cair	2,375 gram/cm ³
Titik lebur	933,47 K, 660,32°C, 1220,58°F
Titik didih	2792 K, 2519°C, 4566°F
Kalor jenis (25°C)	24,2 J/mol K
Resistansi listrik (20°C)	28.2 nΩ m
Konduktivits termal (300 K)	237 W/m K
Pemuaian termal (25°C)	23.1 μm/m K
Modulus Young	70 Gpa
Modulus geser	26 Gpa
Poisson ratio	0,35
Kekerasan skala Mohs	2,75
Kekerasan skala <i>Vickers</i>	67 Mpa
Kekerasan skala Brinell	245 Mpa

Beberapa sifat mekanik yang terdapat pada aluminium adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan Tarik

Besarnya nilai tegangan yang diperoleh saat memalkukan pengujian tarik yaitu kekuatan tarik. *Necking* dapat terjadi ketika kekuatan tarik ditunjukkan dengan hasil tegangan regangan kurva dari hasil pengujian. Kekuatan tarik dari aluminium sendiri dalam keadan murni yaitu 90Mpa, hal ini kurang memenuhi sehingga dalam pemanfaatan memerlukan kekuatan tarik yang tinggi maka aluminium perlu dipadukan. Paduan aluminium *alloy* memeiliki kekuatan Tarik hingga 600Mpa, dengan memadukan unsur paduan lain yang ditambahkan sebagai termal aluminium.

2. Kekerasan

Kekerasan memiliki sifat yang dapat menghambat terjadinya deformasi yang berpengaruh pada bahan yang dapat diaplikasikan dengan suatu gaya. Kekerasan dari paduan juga mempengaruhi kelenturan, viskoelastitas, deformasi plastis, kekuatan tarik, kegetasan dan lain sebagainya. Metode pengujian kekerasan seperti Brinell, *Vickers*, Mohs, dan Rockel ini metode yang pada umumnya digunakan, kekerasan suatu bahan aluminium dengan keadaan murni ini bernilai kecil, yaitu 20 skala Brinell, jadi pengaruh gaya yang dapat dipengaruhi sangatlah besar. Perlakuan termal serta fisik dapat dipadukan dengan aluminium guna untuk kebutuhan elemen mesin yang dapat dimanfaatkan dan diuji dengan kekerasannya sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Paduan aluminium dengan 4,4% Cu dan diperlukan *Quencing*, lalu dapat disimpan dengan temperatur tinggi dapat memiliki kekerasan Brinell sebesar 160.

3. *Ductility* (kelenturan)

Pengujian tarik diperlukan guna mengetahui material yang diuji akan mengalami *necking*. *Ductility* diperlukan sebagai bahan mekanis dari suatu paduan untuk menerapkan seberapa jauh paduan dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadi retakan atau *creck*. Paduan yang memiliki *ductility* tinggi akan berpengaruh pada *necking* yang sempit, sedangkan bahan paduan yang memiliki *necking* yang rendah maka dihasilkan hamper tidak mengalami *necking*. Pengujian tarik *ductility* diukur dengan skala elongisasi, yaitu berapa besar pertambahan panjang suatu spesimen

ketika diuji tarik dengan hasil persentase pertambahan paanjang dari awal hingga setelah diuji.

4. *Recyclability* (daya untuk didaur ulang)

Logam aluminium termasuk logam yang mudah didaur ulang dengan cara peleburan tanpa mempengaruhi kualitas awalnya. Peleburan aluminium merupakan logam yang memiliki kriteria yang memerlukan sedikit energi, 5% dari energi yang dibutuhkan untuk proses produksi logam yang awalnya diperlukan dalam proses pengecoran ulang.

5. *Reflectivity* (daya pemantulan)

Aluminium yaitu reflektor yang baik dari cahaya dan panas dan dengan bobot yang ringan, membuatnya ideal untuk bahan reflektor misalnya atap.

2.2.3 Uji Kekerasan

Istilah kekerasan sering dipakai di dunia permesinan. Kekerasan dapat dikatakan sebagai hasil yang mengklaim intensitas tahanan suatu bahan terhadap deformasi yang dipengaruhi oleh obyek lain. Pengujian kekerasan suatu material dapat dilakukan dengan ditekankan pada permukaan logam uji sampai mencapai kedalaman serta luasan tertentu dari gaya serta ukuran indentor tertentu untuk mengetahui secara tepat berapa kekerasan dari logam uji (Suharto, 1995:187).

a. Uji kekerasan *Vickers*

Kekerasan *Vickers* sangat perlu dibutuhkan sebagai ketelitian kekerasan logam. Penggunaan bahan polimer dipergunakan juga caranya yang sama,

menggunakan beban untuk penekanan (P) mulai dari 1 hingga 120 kg tergantung jenis dan kekerasan material yang akan diuji. Kekerasan *Vickers* didapat dari persamaan dan Gambar 2.1 di bawah ini.

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin(\theta/2)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots(1)$$

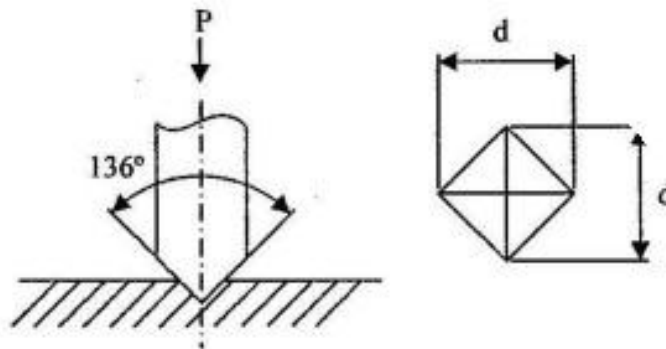
Keterangan:

VHN = Angka Kekerasan *Vickers* (gf/mm^2)

P = Pembebanan (gf)

d = Panjang diagonal indenter (μm)

Dimana VHN *Vickers* Kekerasan Number adalah sudut antara permukaan indenter intan yang berhadapan yaitu 136° , dan d adalah panjang rata-rata garis diagonal bekas penekanan oleh penekan piramida intan (*diamond*) (Sudria dan Shinruko Saito, 1992:188).



Gambar 2.1 Skema Pengujian *Vickers*

Sumber: (Wibowo, *et al.*, 2016:71)

Kekurangan dari pengujian *Vickers* adalah prosesnya yang memerlukan waktu cukup lama, membutuhkan preparasi permukaan material uji yang sangat hati-

hati, dan dapat dimungkinkan terjadinya kesalahan pengukuran panjang diagonal hasil indentor. Standar yang digunakan untuk pengujian *Vickers* umumnya menggunakan standar ASTM E92, untuk standar lainnya dapat diketahui pada Tabel 2.3 (Dieter, 1961: 289).

Tabel 2.4 Tabel standar pengujian *Vickers*, (ASM Internasional, 2000:467).

Standar Nomor	Judul
ASTM E 92	<i>Standard Test Method for Vickers Kekerasan of Metallic Materials</i>
BS EN ISO 6507-1	<i>Metallic Materials-Vickers Kekerasan Test-Part 1: Test Method</i>
BS EN ISO 6507-2	<i>Metallic Materials-Vickers Kekerasan Test-Part 2: Verification of Testing Machines</i>
BS EN ISO 6507-3	<i>Metallic Materials-Vickers Kekerasan Test-Part 3: Calibration of Reference Blocks</i>
EN 23878	<i>Hardmetals- Vickers Kekerasan Test</i>
JIS B 7725	<i>Vickers Kekerasan-Verification of Testing Machines</i>
Standar Nomor	Judul
JIS B 7735	<i>Vickers Kekerasan-Calibration of Reference Blocks</i>
JIS Z 2244	<i>Vickers Kekerasan-Test Method</i>
JIS Z 2252	<i>Test Method for Vickers Kekerasan at Elevated Temperatures</i>

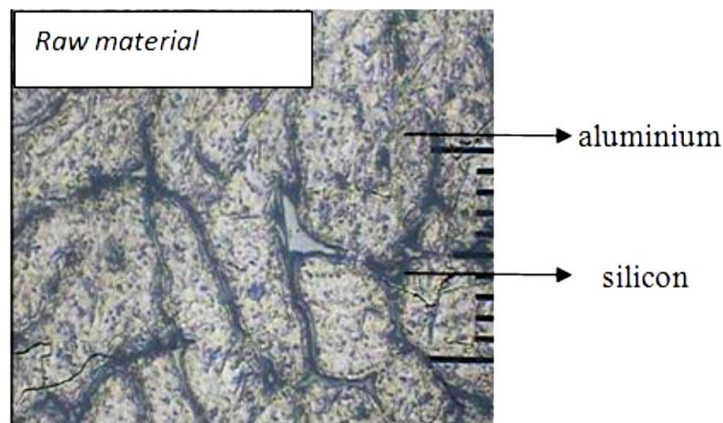
Tabel 2.4 adalah standar yang biasa digunakan dalam pengujian kekerasan *Vickers*. Standar yang digunakan berbeda-beda tergantung material uji serta mesin yang digunakan untuk pengujian. Standar yang paling umum digunakan adalah ASTM E 92.

Setelah diketahui nilai kekerasan material aluminium yang dilakukan proses penambahan unsur magnesium, mangan dan silikon dengan variasi persentase

penahanan yang berbeda, tahap selanjutnya adalah pengujian struktur mikro. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi.

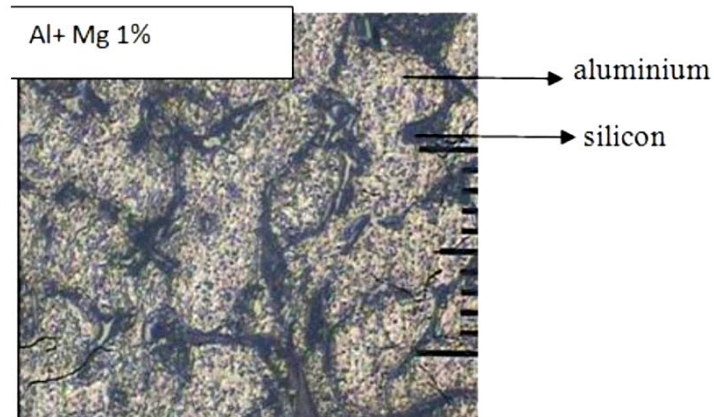
2.2.4 Uji Struktur Mikro

Uji struktur mikro dilaksanakan setelah memadukan unsur pada spesimen, proses ini dilakukan dengan cara mengamati secara langsung spesimen. Struktur mikro ialah struktur paling kecil yang terdapat pada suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat dilihat dengan indra mata langsung, namun harus memakai alat pengamatan struktur mikro antara lain : mikroskop cahaya, mikroskop elektron, mikroskop fiel ion, mikroskop sinar-X (Tarkono, 2013).



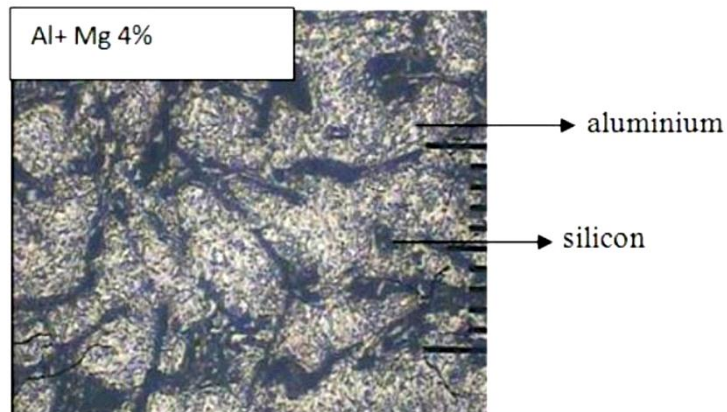
Gambar 2.2 Foto mikro *raw material* aluminium cor pada Al-Si
Sumber: El-Karomi, *et al.*, 2011.

Seperti terlihat pada gambar 2.2, penelitian yang dilakukan oleh El-Karomi, *et al.*, merupakan hasil fotomikro aluminium dengan hasil tingkat kekerasannya yaitu $75,9 \text{ gf/mm}^2$.



Gambar 2.3 Foto mikro aluminium cor penambahan Mg 1% pada Al-Si
Sumber: El-Karomi, *et al.*, 2011.

Seperti terlihat pada gambar 2.3, merupakan hasil foto mikro dengan penambahan unsur magnesium sebesar 1%, yang hanya menghasilkan pengujian kekerasan sebesar 80,4 gf/mm².



Gambar 2.4 Foto mikro aluminium cor penambahan Mg 4% pada Al-Si
Sumber: El-Karomi, *et al.*, 2011.

Gambar 2.4 menunjukkan penelitian hasil foto mikro aluminium dengan variasi penambahan yang ditingkatkan menjadi 4% unsur magnesium, dengan hasil pengujian kekerasan sebesar 86,2 gf/mm². Dengan ini hasil penelitian El-Karomi dapat disimpulkan, semakin banyak unsur magnesium yang ditambahkan maka akan meningkatkan hasil pengujian kekerasan yang semakin tinggi dan ukuran butir akan menurun.

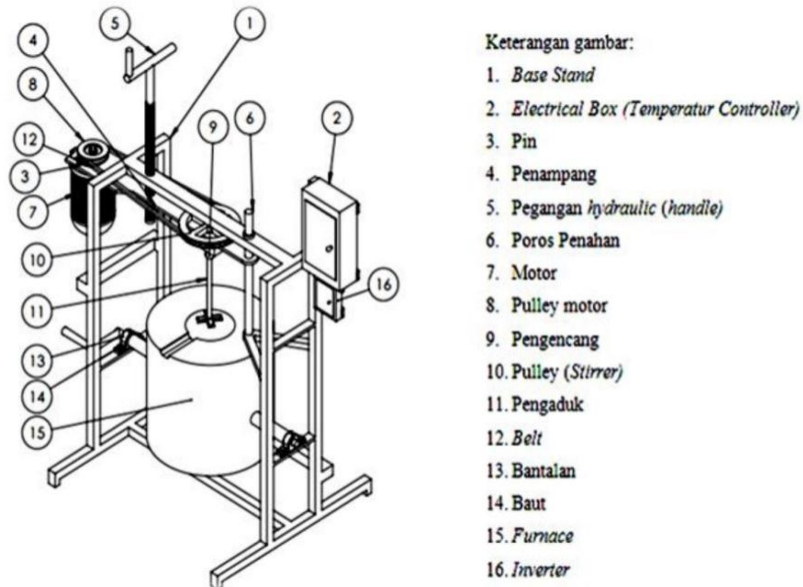
Analisis struktur mikro terdiri dari 3 langkah utama yaitu sampling, preparasi sampel, pengambilan gambar, dan perhitungan ukuran porositas/butir. Sampling dilakukan secara random dua buah per lot terhadap sampel yang telah lolos uji visual. Preparasi sampel meliputi: pemotongan, mounting, penggerindaan, pemolesan, etsa, dan *cleaning/ drying*. Pemotongan dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dimensi sampel yang diinginkan. Penggerindaan dimaksudkan untuk menghilangkan kerusakan permukaan sampel akibat penggerindaan. Etsa adalah pengikisan bahan secara selektif dengan menggunakan larutan kimia tertentu. Dalam etsa ini, batas butir terkorosi lebih awal sehingga terlihat jelas. Pengambilan gambar dimaksudkan untuk merekam gambar struktur mikro sehingga ukuran porositas/butir dapat dihitung (Ngatijo, *et al.*, 2009:285).

2.2.5 Proses *Stir casting*

Proses *stir casting* yaitu salah satu proses pembuatan komposit dalam kondisi cair (*liquid-state*) yang paling sederhana. Prinsip dari proses *stir casting* adalah penyatuan partikel penguat ke dalam logam cair dengan pengadukan secara mekanik

diatas garis *liquidus*, lalu dituangkan kedalam cetakan. Skema dari *stir casting* dan proses *stir casting* dapat dilihat pada gambar 2.5 (Prabowo, *et al.*, 2016: 39).

Pada metode *stir casting* paduan aluminium serta unsur yang ditambah berpengaruh terhadap hasil cor adalah ukuran serbuk atau partikel keramik, kemampuan dan ukuran impeler pengaduk, temperatur logam cair, waktu pengadukan, kecepatan pengadukan, kecepatan pemakanan partikel kedalam campuran secara kontinyu dan sengan laju yang seragam, serta suhu cetakan. Pada proses *stir casting* porosity harus dihindari. Cara yang bisa dilakukan adalah dengan pembuatan cetakan yang tepat, cara penuangan yang baik, dan pemanasan awal pada cetakan (Suyanto, *et al.*, 2014: 166).



Gambar 2.5 Tungku *Stir casting*
Sumber: Suyanto, 2014.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

3.1.1 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dilaksanakan mulai Mei sampai Juli 2019

3.1.2 Tempat Pelaksanaan

Berikut tempat pelaksanaan penelitian dibagi menjadi 2 tempat:

- a. Proses pengecoran aluminium dilakukan di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin FT UNNES Gedung E5 Lantai 1 FT UNNES
- b. Pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro hasil pengecoran dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin FT UNNES E5 FT UNNES.

3.2 Desain Penelitian

3.2.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipergunakan dalam penelitian ini ialah metode eksperimen. Metode penelitian yang dipergunakan guna mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali (Sugiyono, 2012: 72). Perlakuan yang dimaksud dalam penelitian ini adalah logam aluminium yang diperlakukan penambahan variasi unsur dalam proses pengecoran dengan metode *stir casting*. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu perubahan nilai kekerasan dapat diketahui dengan melakukan uji kekerasan dengan metode *Vickers* dan

perubahan struktur mikro diketahui dengan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Pada penelitian ini faktor yang dapat dikendalikan dipilih:

Tabel 3.4 Komposisi Unsur

No	Magnesium	Mangan	Silikon
1	5%	1%	1%
2	10%	1.5%	3%
3	15%	2%	5%

Faktor ini dipilih karena ketiga faktor berpotensi mempengaruhi kekerasan dan hasil struktur mikro paduan aluminium, karena faktor ini dapat dikendalikan dalam kombinasi penambahan unsur dalam proses pengecoran aluminium.

Kombinasi eksperimen full factorial aluminium dengan penambahan unsur magnesium, mangan dan silikon dengan persentase pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.5 Variasi Persentase Paduan Unsur

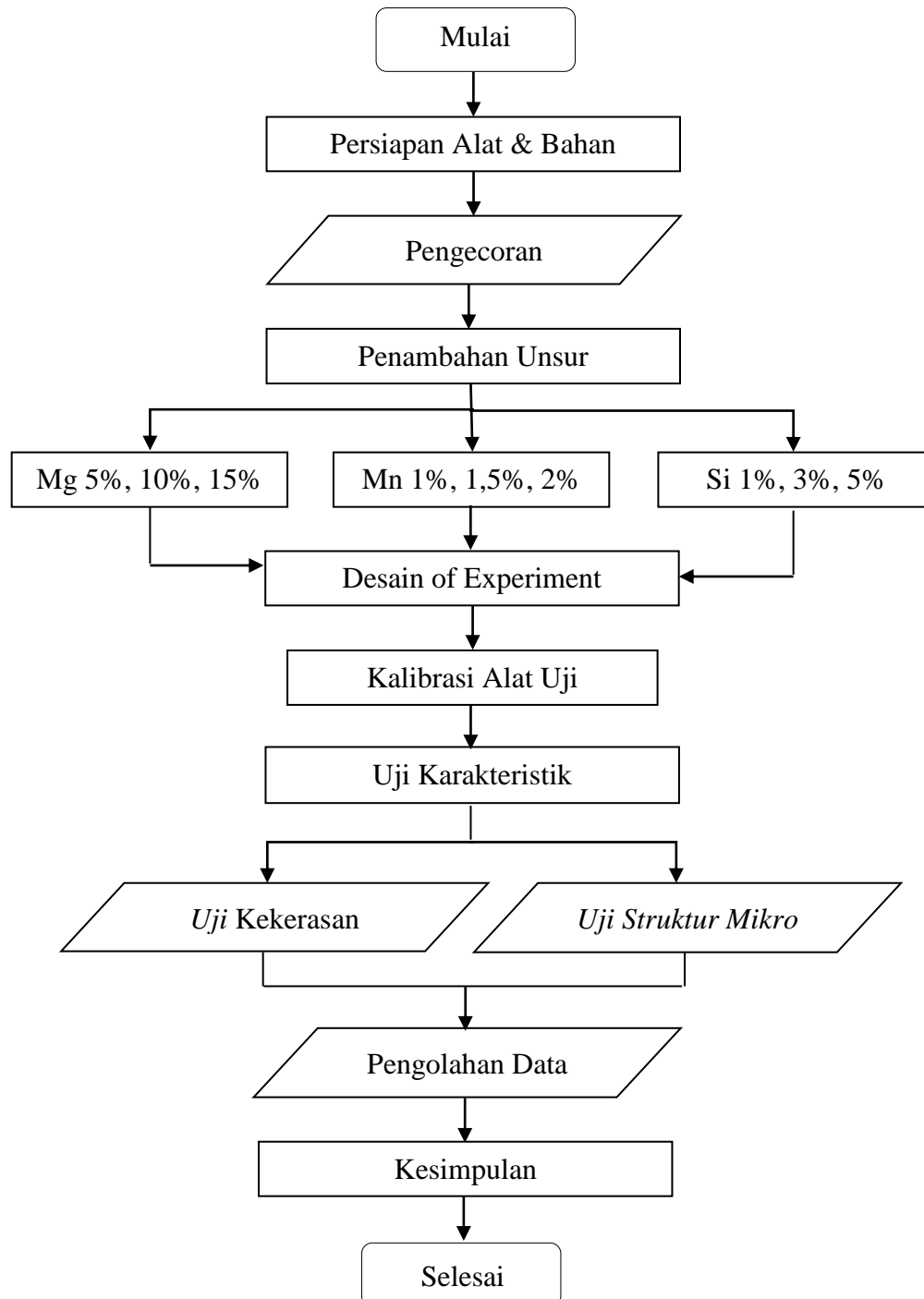
Magnesium	Mangan	Silikon
5%	1%	1%
10%	1%	1%
15%	1%	1%
5%	1.5%	1%
10%	1.5%	1%
15%	1.5%	1%
5%	2%	1%
10%	2%	1%
15%	2%	1%
5%	1%	3%
10%	1%	3%
15%	1%	3%
5%	1.5%	3%
10%	1.5%	3%
15%	1.5%	3%
5%	2%	3%
10%	2%	3%
15%	2%	3%
5%	1%	5%

Magnesium	Mangan	Silikon
10%	1%	5%
15%	1%	5%
5%	1.5%	5%
10%	1.5%	5%
15%	1.5%	5%
5%	2%	5%
10%	2%	5%
15%	2%	5%

Desain eksperimen di atas termasuk dalam tahapan atau perancangan serentak secara bertahap dari tiap variasi faktor / variabel dengan hasil yang dapat mempengaruhi variabilitas rata-rata hasil kombinasi dari karakteristik bahan dan proses tertentu. Perlakuan yang dimaksud dalam penelitian ini adalah proses pengecoran logam aluminium yaitu dengan variasi persentase penambahan unsur dengan proses *stir casting*. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah perubahan nilai kekerasan dan perubahan struktur mikro. Perubahan nilai kekerasan diketahui dengan uji kekerasan dengan metode *Vickers* dan perubahan struktur mikro diketahui dengan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Metode yang dimanfaatkan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen, yang diawali dengan studi literature, menerapkan perancangan masalah yang didapat serta dibatasi dengan pembatasan masalah, menentukan persentase variabel, melakukan perlakuan pengujian bahan, analisa data, pembahasan dari hasil penelitian pengujian dan menyimpulkan penelitian.

3.2.2 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini sesuai dengan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada diagram berikut:



Proses penelitian ini dilakukan dengan kondisi waktu peleburan tetap selama 90 menit dan 10 menit proses *stir casting* dengan putaran 300 rpm dalam satu kali proses peleburan. Variasi peleburan yang dilakukan berjumlah dua puluh delapan kali proses penambahan termasuk *raw material* nya dengan komposisi variasi spesimen yang ditentukan selama proses peleburan aluminium. Penelitian ini difokuskan pada hasil pengujian karakteristik hasil coran dari spesimen yang dicetak.

Sebelum melakukan penelitian, peneliti mempersiapkan pembuatan cetakan spesimen untuk wadah dari hasil pengecoran yang akan dibuat. Cetakan kayu dibuat dengan model cup dan drug. Material kayu yang digunakan untuk membuat cetakan adalah kayu bebas. Pola dibentuk menggunakan kayu dengan ukuran 100mm × 20mm × 20mm. ukuran pola tersebut disesuaikan dengan ukuran spesimen yang dibutuhkan dalam pengujian yang dilakukan.

Proses penelitian yang dilakukan oleh penulis melalui tahapan diantara lain sebagai berikut:

- a. Menyiapkan komposisi bahan penelitian pengecoran paduan aluminium diantaranya aluminium ingot batang, unsur magnesium (Mg), unsur mangan (Mn), unsur silikon (Si).
- b. Menimbang berat komposisi unsur tiap paduan variasi spesimen yang ditentukan, termasuk juga bahan *raw material* nya.
- c. Menyiapkan peralatan tungku peleburan serta alat *stir casting* dan membuat cetakan pasir sesuai bentuk pola spesimen yang dibuat.

- d. Masukkan paduan aluminium beserta unsur yang ditimbang sesuai nomor urut variasi paduan yang ditentukan termasuk bahan *raw material* nya.
- e. Waktu peleburan yang ditetapkan yaitu 90 menit dan proses mixer *stir casting* selama 10 menit dengan putaran 300 rpm setiap satu proses peleburan hingga temperatur tungku mencapai 700°C menggunakan alat *thermometer infrared*.
- f. Menuangkan pada cetakan pasir yang sudah siap dituang.
- g. Menunggu selama 10 menit setelah proses penuangan.
- h. Mengulang proses tersebut hingga semua spesimen terpenuhi jumlah dan hasil yang diinginkan.

Kemudian spesimen *raw material* dilakukan pengujian kekerasan dan analisis uji struktur mikro guna mengetahui pengaruh perubahan pada material.

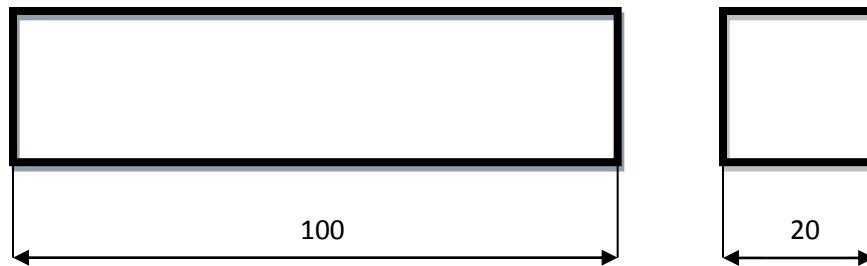
3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu sendok pasir, tungku pelebur, termokopel, sendok baja pengaduk, cetakan kayu, stopwatch, timbangan digital, mesin frais universal, *microvickers* hardness test dan mikroskop optik metalurgi.

3.3.2 Bahan Penelitian & Spesimen :

- a. Aluminium sebanyak 5 Kg
- b. Magnesium ingot 99% murni sebanyak 200 gr.
- c. Mangan ingot 99% murni sebanyak 100 gr.
- d. Silikon ingot 99% murni sebanyak 100 gr.
- e. Pola spesimen yang berukuran sebagai berikut:



Gambar 3.6. Spesimen.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang dibutuhkan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

a. Variabel bebas

Adapun variabel bebas dalam penelitian ini ialah pengecoran menggunakan metode *stir casting* dengan variasi penambahan 3 unsur yaitu magnesium, mangan, dan silikon dengan persentase (Mg) (5%, 10%, 15%), (Mn) (1%, 1.5%, 2%) dan (Si) (1%, 3%, 5%).

b. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kekerasan dan struktur mikro.

c. Variabel kontrol

Adapun variabel kontrol dalam penelitian ini adalah :

- a. Jenis aluminium yang akan digunakan adalah aluminium dengan kandungan 97.93%.
- b. Proses *stir casting* dengan putaran 300 rpm selama 10 menit dalam pengecoran.

- c. Penambahan unsur magnesium (Mg) (5%, 10%, 15%), mangan (Mn) (1%, 1.5%, 2%) dan silikon (Si) (1%, 3%, 5%).
- d. Lama waktu pembongkaran cetakan pasir dilakukan 10 menit setelah proses penuangan.
- e. Pembuatan spesimen dilakukan dengan proses machining dengan standar yang ditentukan.
- f. Pengujian kekerasan dengan metode *mikrovickers* untuk semua spesimen.
- g. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik yang diambil dari tiga spesimen yang tinggi nilai kekerasaannya.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu dengan dokumentasi dan uji laboratorium. Dokumentasi dilakukan dengan mendokumentasikan setiap peristiwa-peristiwa yang dilakukan sehingga terjadi kronologi peristiwa yang runtut sesuai diagram alir penelitian. Dokumen dapat berupa tulisan, gambar, atau benda-benda. Penulis mendokumentasikan dan mencatat hal – hal penting selama penelitian. Dalam penelitian ini, spesimen yang telah dilakukan proses perlakuan panas dengan variasi waktu penahanan yang berbeda kemudian diuji kekerasan dan diamati struktur mikronya.

Penelitian ini menggunakan teknik pengambilan data observasi terstruktur. Menurut Sugiyono (2012:146) observasi terstruktur ialah observasi yang disusun

secara sistematis mengenai objek-objek yang akan diteliti, kapan, dan dimana tempat penelitian dilakukan.

3.5.1 Uji Kekerasan

Uji kekerasan dengan menggunakan metode *microvickers* dengan *microindentation Vickers* dengan menggunakan standar ASTM E92 yaitu dengan pembebanan 100 gf. Indentor yang digunakan yaitu indentor berbentuk kerucut intan dengan sudut bidang yang berhadapan yaitu 136° . Angka kekerasan diambil secara acak pada permukaan spesimen dengan masing-masing 3 titik pengujian.

Tabel 3.5 Parameter Penelitian

No.	Variasi unsur Magnesium, Mangan, Silikon	Waktu (menit)	Angka kekerasan <i>Vickers</i> (gf/mm ²)			Rata-rata
			Uji 1	Uji 2	Uji 3	
R	<i>Raw material</i>	100				
1	5%, 1%, 1%	100				
2	10%, 1%, 1%	100				
3	15%, 1%, 1%	100				
4	5%, 1.5%, 1%	100				
5	10%, 1.5%, 1%	100				
6	15%, 1.5%, 1%	100				
7	5%, 2%, 1%	100				
8	10%, 2%, 1%	100				
9	15%, 2%, 1%	100				
10	5%, 1%, 3%	100				
11	10%, 1%, 3%	100				
12	15%, 1%, 3%	100				
13	5%, 1.5%, 3%	100				
14	10%, 1.5%, 3%	100				
15	15%, 1.5%, 3%	100				
16	5%, 2%, 3%	100				
17	10%, 2%, 3%	100				

No.	Variasi unsur Magnesium, Mangan, Silikon	Waktu (menit)	Angka kekerasan <i>Vickers</i> (gf/mm ²)			Rata-rata
			Uji 1	Uji 2	Uji 3	
18	15%, 2%, 3%	100				
19	5%, 1%, 5%	100				
20	10%, 1%, 5%	100				
21	15%, 1%, 5%	100				
22	5%, 1.5%, 5%	100				
23	10%, 1.5%, 5%	100				
24	15%, 1.5%, 5%	100				
25	5%, 2%, 5%	100				
26	10%, 2%, 5%	100				
27	15%, 2%, 5%	100				

3.5.2 Uji Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan cara mengamati secara langsung spesimen. Sebelum pengamatan dilakukan, permukaan spesimen dipotong dan dihaluskan dengan cara pengamplasan secara perlahan sehingga didapatkan permukaan yang rata. Pengamatan pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan mesin uji struktur mikro dengan perbesaran 100x. Pengujian struktur mikro dilakukan guna menganalisa struktur maupun penyebaran distribusi partikel didalam spesimen dengan variasi penambahan unsur yang ditentukan. Lama dan kecepatan putaran *stir casting* sangat berpengaruh terhadap partikel paduan unsur yang dilebur dalam proses peleburan spesimen.

Tabel 3.6 Parameter Pengujian Foto Struktur Mikro

Paduan Spesimen Penambahan Unsur Magnesium, Mangan Dan Silikon	Spesimen	Foto Struktur Mikro
5%, 2%, 5%	1	
10%, 2%, 5%	2	
15%, 2%, 5%	3	

3.6 Kalibrasi Instrumen

Kalibrasi yaitu proses menentukan kebenaran nilai petunjuk alat ukur dan bahan ukur dengan melalui perbandingan terhadap standar ukur baik national maupun international untuk satuan ukuran dan bahan-bahan tersertifikasi. Dalam penelitian ini alat ukur yang dikalibrasi adalah mesin uji kekerasan.

Mesin uji kekerasan adalah mesin yang digunakan untuk mendapatkan nilai kekerasan suatu material. Cara kalibrasi mesin uji kekerasan adalah sebagai berikut:

- a. Master block diletakkan pada permukaan dengan posisi tegak lurus terhadap indenter.
- b. Permukaan dinaikkan hingga master block dan indenter saling bersinggungan.
- c. Beban diturunkan ke master block.
- d. Beban ditahan selama beberapa waktu.

- e. Menghilangkan/menaikkan beban dari master block.
- f. Nilai kekerasan yang muncul pada mesin uji dilihat apakah sudah sama dengan nilai kekerasan master block yang digunakan, apabila sudah sama maka mesin uji dinyatakan telah terkalibrasi.
- g. Master block dilepas dari mesin uji.
- h. Mesin uji dibersihkan.

3.7 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ialah menggunakan metode statistik deskriptif. Statistik deskriptif adalah statistik yang berfungsi memberi gambaran terhadap data yang telah dikumpulkan tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang umum (Sugiyono,2012:147). Data yang telah terkumpul kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel sehingga lebih mudah dipelajari maksudnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

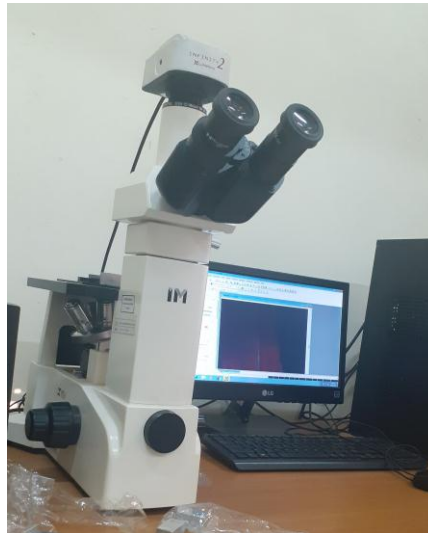
4.1. Deskripsi Data

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data kekerasan dari masing-masing spesimen yang telah dipadukan dengan komposisi yang berbeda. Pengambilan data dilakukan dengan pengujian pada tiap spesimen menggunakan mesin *Microhardness Tester* (FM-800) untuk mengetahui nilai kekerasannya. Proses pengujian kekerasan dilakukan dengan cara mengambil 3 titik dengan permukaan uji dengan pembebanan 100gf pada tiap spesimen, kemudian data yang diperoleh diambil rata-ratanya untuk menghasilkan perbandingan rata-rata kekerasan permukaan dari seluruh permukaan spesimen yang diuji.



Gambar 4.7 Pengujian kekerasan

Proses pengujian struktur mikro dilakukan dengan perbandingan tiga paduan spesimen yang memiliki nilai kekerasan yang baik, untuk mengetahui struktur tiap spesimen. Sebelum melakukan pengujian struktur mikro, spesimen harus mencapai tingkat kehalusan permukaan yang baik dengan cara diampelas, kemudian spesimen melalui proses etsa dengan campuran *hydrofluoride acid* (HF) 10 ml, *nitrid acid* (HNO₃) 1 ml, dan air 200 ml. Pengujian struktur mikro menggunakan mesin Infinity 2 Lumenera dengan perbesaran 100 kali.



Gambar 4.8 Pengujian struktur mikro

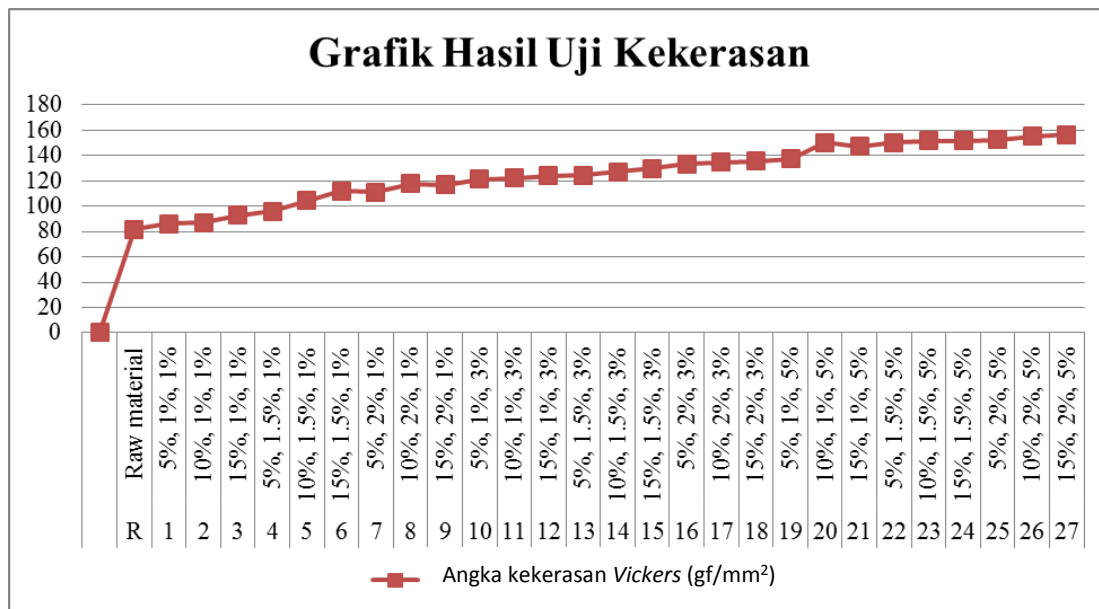
4.2. Hasil Pengujian Kekerasan Metode *Vickers*

Hasil pengujian kekerasan permukaan Aluminium dengan variasi paduan unsur magnesium, silikon dan mangan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.7 Hasil Data Pengujian Kekerasan Metode *Vickers*

No.	Variasi unsur Magnesium, Mangan, Silikon	Waktu (menit)	Angka kekerasan <i>Vickers</i> (gf/mm ²)			Rata-rata
			Uji 1	Uji 2	Uji 3	
R	<i>Raw material</i>	100	81,7	84,5	84,8	83,6
1	5%, 1%, 1%	100	86,3	85,2	86,9	86,1
2	10%, 1%, 1%	100	87	88,8	89,7	88,5
3	15%, 1%, 1%	100	92,7	95,5	93,8	94
4	5%, 1.5%, 1%	100	95,8	99,2	99,5	98,1
5	10%, 1.5%, 1%	100	104,2	103,5	104,5	104,0
6	15%, 1.5%, 1%	100	112,1	105,1	112,1	109,7
7	5%, 2%, 1%	100	110,9	109,9	113,1	111,3
8	10%, 2%, 1%	100	117,6	120,8	115,3	117,9
9	15%, 2%, 1%	100	116,8	121,1	118,3	118,7
10	5%, 1%, 3%	100	121,2	119,7	121,1	120,6
11	10%, 1%, 3%	100	122,2	121,3	121,2	121,5
12	15%, 1%, 3%	100	124	123,1	126,3	124,4
13	5%, 1.5%, 3%	100	124,4	123,6	126,9	124,9
14	10%, 1.5%, 3%	100	126,9	126,8	126	126,5
15	15%, 1.5%, 3%	100	129,7	128,3	128,9	128,9
16	5%, 2%, 3%	100	133,4	133,5	130,9	132,6
17	10%, 2%, 3%	100	134,6	133,8	135,2	134,5
18	15%, 2%, 3%	100	135,6	135,6	136,4	135,8
19	5%, 1%, 5%	100	137,5	138,7	137,8	138
20	10%, 1%, 5%	100	150	141,3	143,4	144,9
21	15%, 1%, 5%	100	147,1	148,9	149,8	148,6
22	5%, 1.5%, 5%	100	150,2	150,5	150,8	150,5
23	10%, 1.5%, 5%	100	151,6	150,6	150,6	150,9
24	15%, 1.5%, 5%	100	151,6	151,4	151,8	151,6
25	5%, 2%, 5%	100	152,3	152	152,4	152,2
26	10%, 2%, 5%	100	155	155,4	155	155,1
27	15%, 2%, 5%	100	156,4	157,5	157,2	157

Tabel 4.7 menjelaskan bahwa terdapat perbedaan nilai kekerasan yang meningkat pada setiap variasi paduan masing-masing spesimen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan yang terjadi adalah yang semula 83,6 VHN pada *raw material* menjadi 157 VHN pada paduan 15% unsur magnesium, 5% unsur silikon, dan 2% unsur mangan. Yang berarti nilai kekerasannya meningkat dengan menambahkan paduan unsur tersebut.

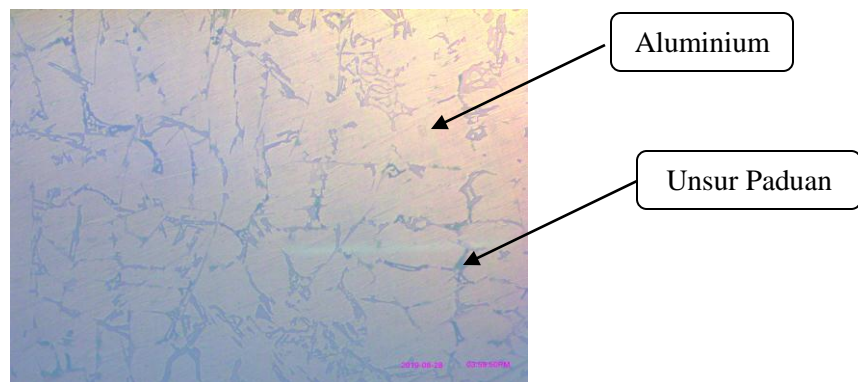


Gambar 4.9 Hasil Uji Kekerasan.

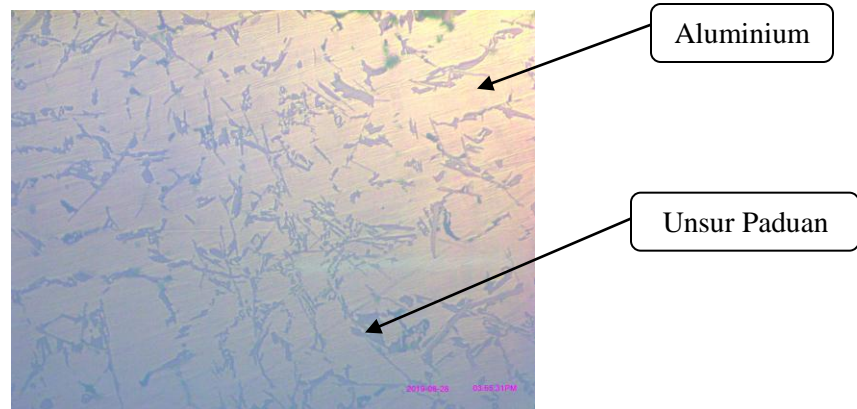
Grafik pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa variasi paduan unsur berpengaruh terhadap nilai kekerasan pada spesimen paduan aluminium. Dapat dilihat bahwa secara umum nilai kekerasan material tertinggi terdapat pada hasil paduan aluminium dengan unsur paduan 15% magnesium, 5% silikon dan 2% mangan, kemudian paduan unsur 5% magnesium, 1% silikon dan 1% mangan yang paling rendah nilai kekerasannya.

4.3. Hasil Pengujian Struktur Mikro

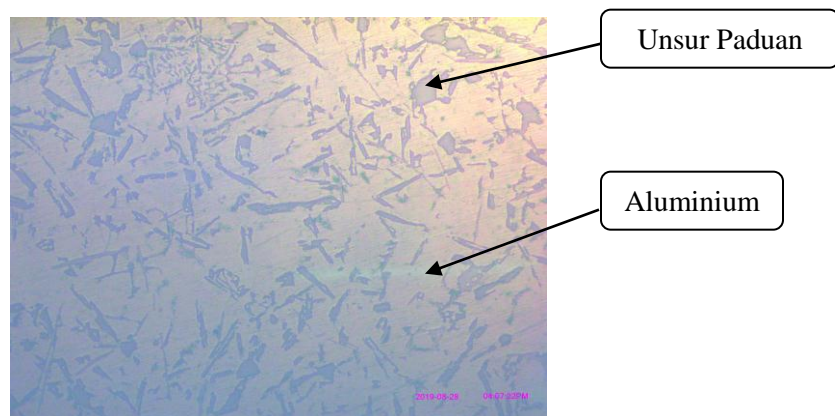
Pengamatan struktur mikro digunakan untuk menganalisa struktur maupun penyebaran distribusi partikel didalam tiap spesimen yang diambil tiga dari duapuluh tujuh paduan aluminium yang dinilai tinggi tingkat kekerasannya. Paduan aluminium pengamatan struktur mikro yang diambil yaitu unsur magnesium sebesar 5%, 10%, 15% unsur silikon sebesar 5% dan unsur mangan sebesar 2%. Pengamatan dalam penelitian struktur mikro ini menggunakan perbesaran 100 kali.



Gambar 4.10 Hasil foto struktur mikro paduan 5%, 2%, 5% dengan perbesaran 100x.



Gambar 4.11 Hasil foto struktur mikro paduan 10%, 2%, 5% dengan perbesaran 100x.



Gambar 4.12 Hasil foto struktur mikro paduan 15%, 2%, 5% dengan perbesaran 100x.

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro paduan aluminium menggunakan metode *stir casting* terbentuk beberapa fasa diantaranya fasa aluminium dan fasa aluminium paduan.

4.4. Pembahasan

4.4.1. Nilai Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* menunjukkan bahwa *raw material* mempunyai tingkat kekerasan yang paling rendah bila dibandingkan dengan

hasil pengecoran aluminium dengan penambahan unsur magnesium (Mg) sebesar 5%, 10%, 15% unsur mangan (Mn) sebesar 1%, 1.5%, 2% unsur silikon (Si) sebesar 1%, 3%, 5%.

Dari keseluruhan data yang disajikan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.8 paduan spesimen terlihat meningkat nilai kekerasannya, hal tersebut berhubungan dengan pengaruh unsur paduan yang berpengaruh terhadap ukuran butir aluminium maka jarak antar butirnya semakin rapat, sehingga spesimen tersebut menjadi keras. Paduan nomor 25 pada tabel 4.7 dengan unsur magnesium 5%, mangan 2%, silikon 5% dan aluminium 88% menghasilkan nilai kekerasan 152,2 VHN dengan perbandingan *raw material* sebesar 83,6 VHN. Paduan nomor 26 pada tabel 4.7 dengan unsur magnesium 10%, mangan 2%, silikon 5% dan aluminium 83% menghasilkan nilai kekerasan 155,1 VHN dengan perbandingan *raw material* sebesar 83,6 VHN. Paduan nomor 27 pada tabel 4.7 dengan unsur magnesium 15%, mangan 2%, silikon 5% dan aluminium 78% menghasilkan nilai kekerasan 157 VHN dengan perbandingan *raw material* sebesar 83,6 VHN.

Pengujian kekerasan spesimen aluminium dengan paduan unsur tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasannya, karena dengan penambahan unsur magnesium (Mg) dan unsur mangan (Mn) dapat berpengaruh meningkatkan kekerasan paduan aluminium. Sedangkan unsur silikon (Si) memiliki karakteristik yang lebih baik terhadap ketahanan korosi, mampu mesin yang baik serta meningkatkan nilai *ductility* (kelenturan) yang baik.

4.4.2. Struktur Mikro

Struktur mikro hasil paduan unsur magnesium (Mg), mangan (Mn) dan silikon (Si) dengan aluminium pengecoran dengan metode *stir casting*. Lama dan kecepatan putaran dari *stir casting* sangat berpengaruh dimana *mixer* untuk mengaduk cairan aluminium dan paduan unsur dengan tujuan menghindari terjadinya gumpalan paduan unsur yang tidak terdistribusi merata dengan aluminium sehingga menghasilkan kekerasan yang tidak merata. Dari hasil gambar foto struktur mikro dapat dilihat seberapa pengaruh persentase paduan unsur yang ditambah merupakan hasil paduan aluminium yang mempunyai struktur yang baik. Pada hasil paduan unsur magnesium (Mg) 5%, 10%, 15%, unsur mangan (Mn) 2% dan unsur silikon (Si) 5% mempunyai karakteristik fasa-fasa aluminium dan aluminium paduan unsur yaitu fasa aluminium (berwarna terang) merupakan larutan padat primer, sedangkan fasa aluminium paduan (berwarna kelabu kehitam-hitaman) merupakan meningkatnya kekuatan, kekerasan dan menghambat laju korosi pada paduan aluminium. Pada paduan aluminium yang dicor dengan metode *stir casting*, dengan paduan magnesium (Mg) 15%, mangan (Mn) 2%, silikon (Si) 5% memiliki distribusi dan bentuk struktur butiran fasa aluminium paduan yang cenderung menggumpal dengan ukuran butiran lebih kecil hambatan korosinya dan jarak antar butirnya mengelompok.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pengaruh pada paduan unsur magnesium (Mg), silikon (Si) dan mangan (Mn) pada proses pengecoran aluminium dengan metode *stir casting* hasil dapat disimpulkan bahwa:

1. Unsur paduan berpengaruh terhadap tingkat kekerasan aluminium dengan proses pengecoran *stir casting*. Nilai kekerasan dengan paduan unsur magnesium 15%, mangan 2%, silikon 5% dan aluminium 78% memiliki tingkat kekerasan yang paling tinggi menghasilkan nilai kekerasan 157 VHN dengan perbandingan *raw material* sebesar 83,6 VHN.
2. Pengamatan uji struktur mikro dengan unsur paduan paduan aluminium yang dicor dengan metode *stir casting*, dengan paduan magnesium (Mg) 15%, mangan (Mn) 2%, silikon (Si) 5% memiliki distribusi dan bentuk struktur butiran fasa aluminium paduan yang cenderung menggumpal dengan ukuran butiran lebih kecil hambatan korosinya dan jarak antar butirnya mengelompok.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka pada penelitian selanjutnya khususnya pada bidang industri pengolahan bahan, supaya memperhatikan bahan baku pengecoran logam dan paduan unsur dengan metode *stir casting* yaitu menentukan komposisi presentase unsur yang tepat, paduan 15% magnesium (Mg), 2% mangan (Mn) dan 5% silikon (Si) memenuhi peningkatan nilai kekerasannya mencapai 157 VHN dibanding dengan *raw material* sebesar 83,6 VHN.

DAFTAR PUSTAKA

- Adril, E., Zulfikar., S. M. D. Basa dan N. Firmawati. 2010. Pengaruh Penambahan Mangan Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium A7075. *Jurnal Poli Rekayasa* 6(1): 41-47.
- ASM International. 2000. *ASM Handbook Volume 8th Mechanical Testing and Evaluation*. United States of America: ASM International.
- Bahtiar dan L. Soemardji. 2012. Pengaruh Temperatur Tuang dan Kandungan Silikon Terhadap Nilai Kekerasan Paduan Al-Si. *Jurnal Mekanika* 3 (2): 311-316.
- Bayuseno dan Chamdani. 2011. ACD 12 Sebagai Material Sepatu Rem Menggunakan Pengecoran *High Pressure Die Casting* Dengan Variasi Temperatur Penuangan. *Jurnal Rotasi* 13(1): 17-23.
- Callister, W.D. 1999. *Material Science and Engineering and Introduction. Fifth Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Cholis. 2013. Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Aluminium . *Jurnal nossle* 1-6.
- Diester. 1961. *Mechanical Metallurgy*. Penerbit: New York, McGraw-Hill.
- El-Karomi, K, S., B. Harjanto dan Subagsono. 2011. Analisis Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Tingkat Kekerasan, Struktur Mikro dan Kekuatan Impact Pda Velg Aluminium (Al-0,5% Si). *Jurnal Nossel* 1-6.
- George, E dan Dieter. 1961. *Mechanical Metallurgy*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Hay dan A. A. Firdaus. 2013. Penambahan Unsur Mangan Dalam Paduan Aluminim Silikon Sebagai Upaya Pencegahan Terjadinya Pelengketan Material Pada Baja Cetakan H13. *Jurnal Teknik Mesin* 7 1-8.
- Kartika. 2012. Pengaruh Penambahan Mangan Terhadap Sifat Mampu Tempa Paduan Co-35Cr-5Mo Untuk Aplikasi Implan. *Jurnal Metalugri* 27(2): 95-104.

- Majanastra. 2016. Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming Pada Material Tembaga (Cu) C84800 dan Aluminium Al 6063. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 4(2): 15-30.
- Mugiono, Lagiyo dan Rusnoto. 2013. Pengaruh Penambahan Mg Terhadap Sifat Kekerasan dan Kekuatan Impak Serta Struktur Mikro Pada Paduan Al-Si Berbasis Material Piston Bekas. *Jurnal Teknik Mesin* 1-6.
- Ngatijo, S. P. dan A. Sartono. 2009. Analisis Struktur-mikro Pelet Uranium Oksidasnter. *Jurnal, Penelitian EBN*.
- Nindhia, T. G. T. 2010. Studi Struktur mikro Silikon dalam Paduan Aluminium-Silikon pada Piston dari Berbagai Merek Sepeda Motor. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM* 4(1): 31-34.
- Ponco, R. K.S., E. Siahaan dan S. Darmawan. 2016. Pengaruh Unsur Silikon Pada Aluminium Alloy (Al – Si) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Jurnal Poros* 14(1): 49-56.
- Prabowo, A. S., T. Triyono dan I. Yaningsih. 2016. Analisa Pengaruh Penambahan Mg Pada Komposit Matrik Aluminium Remelting Piston Berpenguat Sio₂ Menggunakan Metode *Stir casting* Terhadap Kekerasan dan Densitas. *Jurnal Mekanika* 15(1): 37-43.
- Priyongko. 2008. Pengaruh Penambahan Unsur Silikon (Si) Pada Aluminium (Al) Terhadap Kekuatan Impak dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin* 1-8.
- Setia, I., B. Harjanto dan Subagsono. 2016. Analisis Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) 2% dan 5% terhadap Ketangguhan Impak, Tingkat Kekerasan dan Struktur Mikro pada Velg Aluminium (Al-5,68Si). *Jurnal Teknik Mesin* 1-7.
- Suharto. 1995. *Management Proyek: Penetbit*: Erlangga.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Surdia T dan C. Kenji . 2000. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Pramita.
- Surdia, T dan S. Saito . 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.


- Suyanto, Sulardjaka dan S. Nugrogo. 2014. Pengaruh Komposisi Mg Dan Sic Terhadap Sifat Kekerasan Komposit Alsi-Sic Yang Dibuat dengan Proses Semi Solid Stir casting. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang 165-172.
- Syaifi'udin, I. 2016. Pengaruh Kadar Mangan (Mn) Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Paduan Fe-17cr-Xmn Melalui Metode Peleburan. Tugas Akhir 1-61.
- Tarkono, H. Supriadi dan D. Sewandono. 2013. Pengaruh Variasi Abu Sekam dan Bentonite Pada Cetakan Pasir Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Coran Aluminium AA 1100. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin 1 (3): 1-12.
- Wibowo, T. N., P. T. Iswanto., B. H. Priyambodo dan N. Amin. 2016. Pengaruh Variasi Waktu Shot Peening Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Permukaan pada Material Implan AISI 304. Jurnal Rotor 2 70-73.
- Wilastri, S., A.P. Bayuseno., S. Nugroho. 2011. Pengaruh Variasi Putar Dalam Metode Stir Casting Terhadap Densitas dan Porositas Al-SiC untuk Aplikasi Blok Rem Kereta Api. Jurnal Teknik 7 (2): 31-35.
- Zulfahmi. 2017. Pengaruh Pengecoran Menggunakan Metode Stir casting dengan Penambahan Magnesium terhadap Cacat Coran, Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro. Jurnal Teknik Mesin 1-12.

LAMPIRAN

<p style="text-align: center;">- R</p> <p>55 P= 100gf d1= 45.59 d2= 49.69 HV=81.7 56 P= 100gf d1= 47.04 d2= 46.63 HV=84.5 57 P= 100gf d1= 48.07 d2= 45.45 HV=84.8</p>	<p style="text-align: center;">1</p> <p>01 P= 100gf d1= 46.24 d2= 46.47 HV=86.3 02 P= 100gf d1= 46.42 d2= 46.87 HV=85.2 03 P= 100gf d1= 46.14 d2= 46.23 HV=86.9</p>	<p style="text-align: center;">2</p> <p>04 P= 100gf d1= 46.27 d2= 46.08 HV=87.0 05 P= 100gf d1= 45.81 d2= 45.61 HV=88.8 06 P= 100gf d1= 45.57 d2= 45.35 HV=89.7</p>
<p style="text-align: center;">3</p> <p>07 P= 100gf d1= 44.77 d2= 44.69 HV=92.7 08 P= 100gf d1= 43.81 d2= 44.31 HV=95.5 09 P= 100gf d1= 44.57 d2= 44.37 HV=93.8</p>	<p style="text-align: center;">4</p> <p>10 P= 100gf d1= 43.99 d2= 44.01 HV=95.8 11 P= 100gf d1= 43.34 d2= 43.14 HV=99.2 12 P= 100gf d1= 43.20 d2= 43.14 HV=99.5</p>	<p style="text-align: center;">B-</p> <p>13 P= 100gf d1= 42.29 d2= 42.10 HV=104. 2 14 P= 100gf d1= 42.44 d2= 42.22 HV=103. 5 15 P= 100gf d1= 42.12 d2= 42.12 HV=104. 5</p>
<p style="text-align: center;">6</p> <p>16 P= 100gf d1= 40.52 d2= 40.84 HV=112. 1 17 P= 100gf d1= 41.99 d2= 42.02 HV=105. 1 18 P= 100gf d1= 40.56 d2= 40.79 HV=112. 1</p>	<p style="text-align: center;">7</p> <p>19 P= 100gf d1= 40.79 d2= 41.01 HV=110. 9 20 P= 100gf d1= 41.00 d2= 41.14 HV=109. 9 21 P= 100gf d1= 40.61 d2= 40.39 HV=113. 1</p>	<p style="text-align: center;">8</p> <p>22 P= 100gf d1= 39.69 d2= 39.74 HV=117. 6 23 P= 100gf d1= 39.23 d2= 39.14 HV=120. 8 24 P= 100gf d1= 40.09 d2= 40.13 HV=115. 3</p>
<p style="text-align: center;">9</p> <p>25 P= 100gf d1= 39.97 d2= 39.74 HV=116. 8 26 P= 100gf d1= 39.02 d2= 39.25 HV=121. 1 27 P= 100gf d1= 39.21 d2= 39.97 HV=118. 3</p>	<p style="text-align: center;">10</p> <p>28 P= 100gf d1= 38.85 d2= 39.05 HV=122. 2 29 P= 100gf d1= 39.08 d2= 39.11 HV=121. 3 30 P= 100gf d1= 39.02 d2= 39.22 HV=121. 2</p>	<p style="text-align: center;">11</p> <p>31 P= 100gf d1= 39.20 d2= 39.04 HV=121. 2 32 P= 100gf d1= 39.26 d2= 39.46 HV=119. 7 33 P= 100gf d1= 39.30 d2= 38.98 HV=121. 1</p>
<p style="text-align: center;">12</p> <p>34 P= 100gf d1= 38.76 d2= 38.59 HV=124. 0 35 P= 100gf d1= 38.97 d2= 38.66 HV=123. 1 36 P= 100gf d1= 38.42 d2= 38.22 HV=126. 3</p>	<p style="text-align: center;">13</p> <p>37 P= 100gf d1= 38.62 d2= 38.60 HV=124. 4 38 P= 100gf d1= 38.91 d2= 38.55 HV=123. 6 39 P= 100gf d1= 38.41 d2= 38.05 HV=126. 9</p>	<p style="text-align: center;">14</p> <p>40 P= 100gf d1= 38.36 d2= 38.11 HV=126. 9 41 P= 100gf d1= 38.12 d2= 38.36 HV=126. 8 42 P= 100gf d1= 38.58 d2= 38.15 HV=126. 0</p>

<p>15.</p> <p>43 P= 100gf d1= 37.88 d2= 37.75 HV=129. 7</p> <p>44 P= 100gf d1= 37.95 d2= 38.10 HV=128. 3</p> <p>45 P= 100gf d1= 37.92 d2= 37.86 HV=129. 2</p>	<p>16.</p> <p>46 P= 100gf d1= 37.20 d2= 37.38 HV=133. 4</p> <p>47 P= 100gf d1= 37.13 d2= 37.42 HV=133. 5</p> <p>48 P= 100gf d1= 37.46 d2= 37.81 HV=130. 9</p>	<p>17.</p> <p>49 P= 100gf d1= 37.07 d2= 37.16 HV=134. 6</p> <p>50 P= 100gf d1= 37.21 d2= 37.25 HV=133. 8</p> <p>51 P= 100gf d1= 37.01 d2= 37.05 HV=135. 2</p>
<p>18.</p> <p>52 P= 100gf d1= 37.01 d2= 36.96 HV=135. 6</p> <p>53 P= 100gf d1= 36.96 d2= 37.00 HV=135. 6</p> <p>54 P= 100gf d1= 36.89 d2= 36.85 HV=136. 4</p>	<p>19.</p> <p>55 P= 100gf d1= 36.69 d2= 36.76 HV=137. 5</p> <p>56 P= 100gf d1= 36.46 d2= 36.67 HV=138. 7</p> <p>57 P= 100gf d1= 36.78 d2= 36.59 HV=137. 8</p>	<p>20.</p> <p>58 P= 100gf d1= 35.20 d2= 35.13 HV=150. 0</p> <p>59 P= 100gf d1= 36.18 d2= 36.27 HV=141. 3</p> <p>60 P= 100gf d1= 36.15 d2= 35.78 HV=143. 4</p>
<p>21.</p> <p>61 P= 100gf d1= 35.49 d2= 35.52 HV=147. 1</p> <p>62 P= 100gf d1= 35.33 d2= 35.26 HV=148. 9</p> <p>63 P= 100gf d1= 35.19 d2= 35.18 HV=149. 8</p>	<p>22.</p> <p>64 P= 100gf d1= 35.15 d2= 35.12 HV=150. 2</p> <p>65 P= 100gf d1= 35.07 d2= 35.13 HV=150. 5</p> <p>66 P= 100gf d1= 35.13 d2= 35.00 HV=150. 8</p>	<p>23.</p> <p>67 P= 100gf d1= 34.99 d2= 34.95 HV=151. 6</p> <p>68 P= 100gf d1= 35.04 d2= 35.14 HV=150. 6</p> <p>69 P= 100gf d1= 35.14 d2= 35.05 HV=150. 6</p>
<p>24.</p> <p>70 P= 100gf d1= 34.94 d2= 35.00 HV=151. 6</p> <p>71 P= 100gf d1= 34.96 d2= 35.04 HV=151. 4</p> <p>72 P= 100gf d1= 34.93 d2= 34.98 HV=151. 8</p>	<p>25.</p> <p>73 P= 100gf d1= 34.88 d2= 34.91 HV=152. 3</p> <p>74 P= 100gf d1= 34.95 d2= 34.91 HV=152. 0</p> <p>75 P= 100gf d1= 34.85 d2= 34.91 HV=152. 4</p>	<p>26.</p> <p>76 P= 100gf d1= 34.51 d2= 34.66 HV=155. 0</p> <p>77 P= 100gf d1= 34.69 d2= 34.40 HV=155. 4</p> <p>78 P= 100gf d1= 34.58 d2= 34.60 HV=155. 0</p>
<p>27.</p> <p>79 P= 100gf d1= 34.43 d2= 34.43 HV=156. 4</p> <p>80 P= 100gf d1= 34.33 d2= 34.30 HV=157. 5</p> <p>81 P= 100gf d1= 34.40 d2= 34.29 HV=157. 2</p>		

1. Data Pengujian Kekerasan Metode Vickers


KEMENTERIAN RISTEK DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK
 Gedung E9 Lt 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
 Telepon: 024 8508101
 Laman: mesin.unnes.ac.id, surel: teknik.mesin@mail.unnes.ac.id

No. : 15648/UN37.1.5/KM/2019
 Lamp. :
 Hal : Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana

Dengan ini kami tetapkan bahwa ujian Sarjana Fakultas Teknik UNNES untuk jurusan Teknik Mesin adalah sebagai berikut:

I. Susunan Panitia Ujian:

a. Ketua	: RUSIYANTO, S. Pd., M. T.
b. Sekretaris	: RUSIYANTO, S. Pd., M. T.
c. Pembimbing Utama	: Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., Ph. D.
d. Penguji	: 1. Drs. Sunyoto, M. Si. 2. Dr. Wirawan Sumbodo, M. T.

II. Calon yang diuji:


Nama	: AGUS SETIYAWAN
NIM/Jurusan/Program Studi	: 5201414043/Teknik Mesin /Pendidikan Teknik Mesin, S1
Judul Skripsi	: PENGARUH KOMPOSISI MAGNESIUM (Mg), MANGAN (Mn) DAN SILIKON (Si) TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO ALUMINIUM


III. Waktu dan Tempat Ujian:

Hari/Tanggal	: Kamis / 19 Desember 2019
Jam	: 10:00:00
Tempat	: E9 Lt. 2 Ruang Ujian 1
Pakaian	:

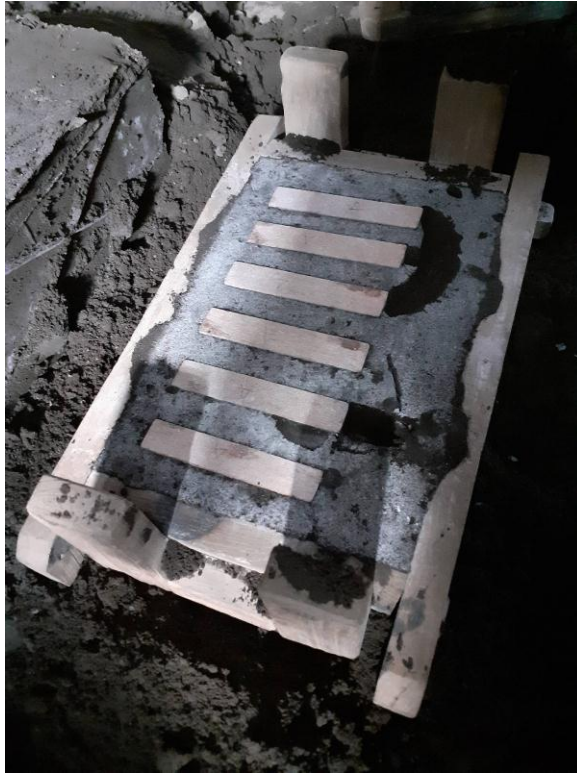
Semarang, 16 Desember 2019

Tembusan
 1. Ketua Jurusan TEKNIK MESIN
 2. Calon yang diuji


 Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
 NIP. 196911301994031001


 5201414043

2. Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi



3. Proses Pembuatan Cetakan Spesimen



4. Proses Pengecoran Metode *Stir Casting*

5. Komposisi Bahan



Aluminium Ingot Batang



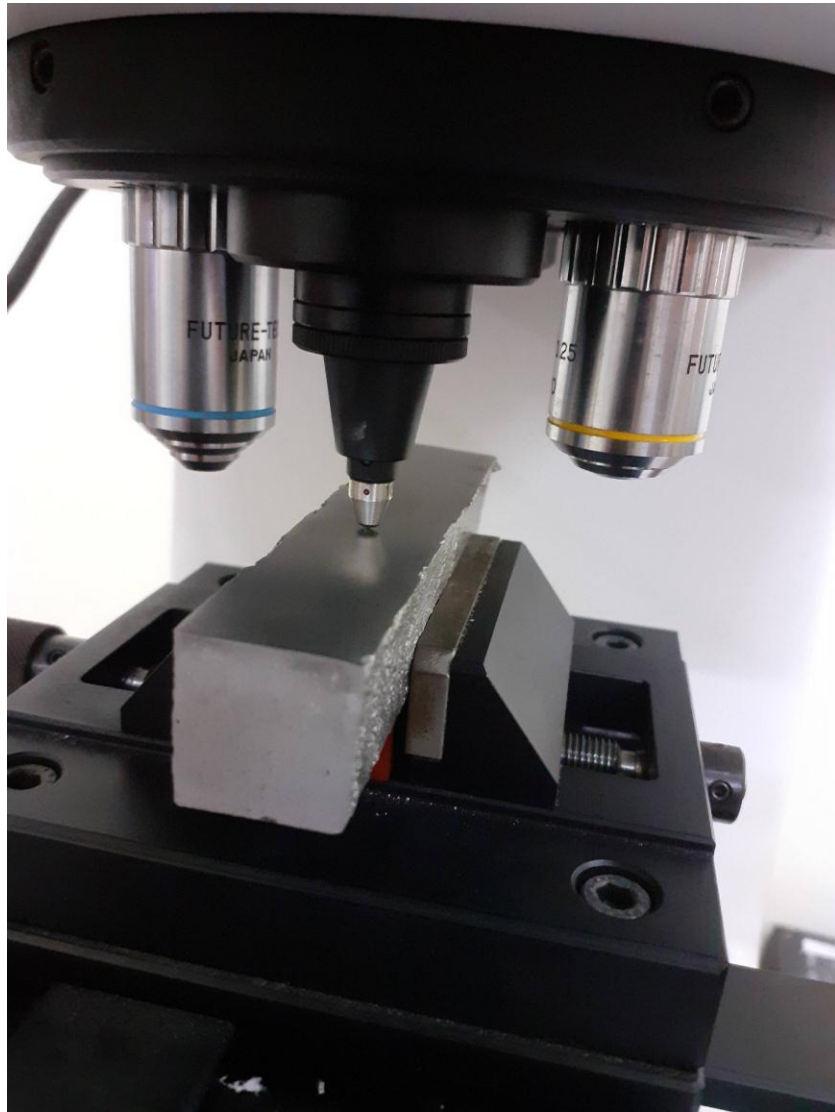
Unsur Mangan (Mn)



Unsur Silikon (Si)



Unsur Magnesium (Mg)



6. Pengujian Kekerasan Metode *Vickers*