

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pada saat melakukan penelitian, sangat diperlukan literasi dan observasi sebagai referensi untuk mencari sumber yang berkaitan dengan judul yang diambil dalam penelitian.

Berikut adalah beberapa referensi yang diambil dalam penelitian ini, yaitu :

Tabel 2.1 Kajian Referensi

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
1	Pengaruh Perlakuan Panas dan Media Pendingin pada Paduan Perunggu 80%Cu- 20%Sn terhadap Umur Lelah	Komala Dewi (2009)	Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Udayana Bandung	Fenomena yang terjadi pada paduan perunggu dengan komposisi 80%Cu -20%Sn setelah diberikan perlakuan panas 650°C, 700°C, 750°C dan didinginkan dengan udara, oli dan air mengalami peningkatan umur lelah.
2	Rancang Bangun dan Pembuatan Alat Vacuum Chamber untuk Proses Pembuatan Mold Silicone Rubber RTV 683	Jafar, Ibnu Afana (2019)	Skripsi/Tugas Akhir Gelar Sarjana Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara	Rancang bangun alat <i>vacuum chamber</i> untuk proses pengeluaran gelembung gas berkapasitas 0,0216m ³ untuk mengetahui perbandingan menggunakan alat <i>vacuum chamber</i> dengan tidak menggunakan.

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
3	Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Paduan Gear Sprocket AISI 1020 Dengan Timah Melalui Heat Treatment	Muh Anhar, Betti Ses Eka Polonia (2019)	Jurnal Simetrik Vol.10, No.1, Juni 2020	Variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan paduan gear sprocket AISI 1020 dengan timah melalui heat treatment akan berpengaruh pada nilai kekerasan dari material paduan gear sprocket AISI 1020 dan timah setelah heat treatment dari dengan media pendingin yaitu pada media udara nilai rata-rata kekerasan 51,2 HR, media oli SAE 40 rata-rata kekerasannya 54 HR dan pada media air dengan nilai rerata kekerasan 58,4 HR,serta didapatkan perlakuan panas yang diteruskan dengan pendinginan udara memberikan nilai kekerasan paling rendah (51,2 HR) atau hanya meningkat 1,99 % dari nilai kekerasan paduan gear tanpa heatreatment, sedangkan pendinginan

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
				dengan oli dan air nilainya lebih tinggi, masing-masing 54 HR atau meningkat 7,57 % dan 58,4 HR atau meningkat 16,3 % dari nilai kekerasan paduan gear tanpa heattreatment.
4	Pengaruh Variasi Media <i>Quenching</i> Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro <i>Remelting</i> Almunium Paduan Berbasis Limbah Piston	Dhimas Ika Wahyu Wibowo (2016).	Skripsi/Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang	Proses <i>quenching</i> mempengaruhi nilai kekerasan hasil <i>remelting</i> aluminium paduan berbasis limbah piston. Menurut hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan, adanya perbedaan nilai kekerasan hasil <i>remelting</i> dengan media <i>quenching</i> yang berbeda. Nilai rerata kekerasan yang dimiliki spesimen <i>raw material</i> sebesar 99,04 HV. Nilai rerata kekerasan yang dimiliki spesimen yang <i>diquenching</i> dengan media <i>oil quenching</i> sebesar 138,78 HV. Nilai rerata kekerasan yang dimiliki spesimen yang

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
				<p>di <i>quenching</i> dengan media air <i>dromus</i> sebesar 135,24 HV. Nilai rerata kekerasan yang dimiliki spesimen yang <i>diquenching</i> dengan air sebesar 162,73 HV. Spesimen yang <i>diquenching</i> dengan media air memiliki nilai kekerasan tertinggi diantara kelompok spesimen lainnya.</p>
5	Pengaruh Variasi Dimensi Saluran Tuang	Sumpena. (2016)	Skripsi/Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin, Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta. ISSN 1829-6181	Pengaruh dimensi saluran tuang terhadap kekerasan adalah kekerasan tertinggi diperoleh pada diameter saluran tuang 17 mm dengan nilai kekerasan 107,98 VHN sedangkan nilai kekerasan terendah diperoleh dengan diameter saluran tuang 15 mm nilai kekerasan 88,3 VHN.

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun	Sumber Peneliti	Kesimpulan
6	Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Kekuatan Bending Baja AISI 1010	Aryo Aji Prabowo (2019)	Skripsi/Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang	<p>1. Variasi media pendingin pada proses <i>quenching</i> berpengaruh terhadap nilai kekerasan, Berdasarkan hasil dapat ditarik kesimpulan bahwa media pendingin yang menghasilkan nilai kekerasan paling tinggi dari proses <i>quenching</i> adalah media pendingin campuran air aquades 50% dengan garam 50% yaitu 334 kg/mm².</p> <p>2. Variasi media pendingin berpengaruh pada struktur mikro pada proses <i>quenching</i>.</p> <p>3. Variasi media pendingin berpengaruh pada kekuatan bending pada proses <i>quenching</i>.</p>

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
7	Pengaruh Variasi Pendinginan Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Ketangguhan Hasil Pengecoran Limbah Piston	Dias Imawan (2017)	Skripsi/Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang	1. Ada pengaruh variasi pendinginan quenching terhadap nilai kekerasan hasil pengecoran aluminium paduan. Menurut hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan, adanya perbedaan nilai kekerasan hasil pengecoran aluminium limbah piston dengan variasi quenching yang berbeda. Berdasarkan analisis yang dilakukan bahwa setiap media pendingin memiliki kemampuan penyerap panas atau laju pendinginan yang berbeda sehingga mempengaruhi nilai kekerasan. Semakin cepat laju pendinginan maka semakin keras, hal ini terbukti dari spesimen hasil quenching media larutan air garam lebih tinggi dibanding

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
				<p>spesimen lainnya.</p> <p>2. Ada pengaruh variasi pendingin quenching terhadap struktur mikro hasil pengecoran aluminium paduan. Berdasarkan analisis struktur mikro dari variasi pendinginan quenching, pembentukan dan penyebaran komposisi struktur Kristal Al dan kristal Si pada spesimen perlakuan quenching disebabkan oleh laju pendingin dari karakter media pendingin, semakin cepat laju pendinginannya maka pembentukan Kristal Al terhadap kristal Si dapat tersebar dalam spesimen. Hal ini terbukti bahwa pembentukan Kristal Al terhadap Kristal Si yang dimiliki spesimen larutan garam lebih cepat dibanding</p>

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
				<p>spesimen lainnya.</p> <p>3. Adanya pengaruh variasi pendingin quenching terhadap ketangguhan hasil pengecoran aluminium paduan. Berdasarkan analisis nilai ketangguhan dari variasi pendingin quenching, pada media quenching oli SAE 20 diperoleh nilai ketangguhan sebesar 0,0171 J/mm², media quenching larutan garam diperoleh ketangguhan sebesar 0,0156 J/mm² dan spesimen raw material sebesar 0,0165. Dari hasil data tersebut juga dipengaruhi sifat fisis dari spesimen, jika terdapat cacat coran salah satunya porositas maka nilai ketangguhan dari spesimen akan menurun</p>

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
8	Studi Pengaruh Katalis Curing (<i>Curing Catalyst</i>) Benzoil Peroksida Terhadap Kekuatan Tarik Dan Stabilitas Termal Karet Silikon (<i>Silicone Rubber</i>)	Deni Budi Utomo (2015)	Skripsi/Tugas Akhir Program Study S-1 Jurusan Material Dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November	Karet silikon telah berhasil dicuring menggunakan curing katalis komersial <i>Bluesil</i> dan BPO. Kekuatan tarik meningkat seiring penambahan <i>curing catalyst</i> (katalis curing) 2-6 wt%. Akan tetapi, terus menurun jika penambahannya diteruskan hingga 10wt%. Kekuatan tekan karet silikon dengan penambahan curing agent (PDMS- <i>Benzoil</i> peroksida) meningkat
9	Analisis Uji Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Aluminium Bekas Sepatu Rem Dengan Variasi Temperatur Tuang	Muhammad Prama Diva Liza (2019)	Skripsi/Tugas Akhir Program Study D.IV Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya	Kampas rem tanpa pengecoran memiliki kekerasan terbesar yaitu 74,74 BHN, untuk suhu pengecoran 670°C dan 710°C memiliki kekerasan rata-rata 73,42 BHN dan 71,22 BHN. Sehingga terjadi penurunan kekerasan dari material setelah mengalami pengecoran.

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
				<p>Untuk suhu pengecoran 750°C memiliki kekerasan terendah yaitu 66,47 BHN, Hal tersebut dikarenakan mengurangnya unsur-unsur dibawah temperature 750°C. Berdasarkan perhitungan ini konstanta (a) sebesar 78,215 dengan koefisien regresi variabel temperature (X) sebesar -2,701. Koefisien bernilai negatif artinya terjadi hubungan negatif</p>
10	<p>Variasi Waktu Tahan pada Proses Austempering Berpengaruh Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Tinggi</p>	<p>Asmadi Lubay (2014)</p>	<p>Jurnal Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas IBA</p>	<p>1.Nilai kekerasan tertinggi pada proses Austempering dengan fluida timah cair diperoleh dengan waktu tahan 20 menit, dan kekerasan terendah pada waktu tahan 60 menit.</p>

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
				<p>ketangguhan. Hal ini menunjukkan adanya korelasi waktu tahan terhadap nilai ketangguhan dan kekerasan. Hasil uji struktur mikro menunjukkan struktur bainit, hasil ini sesuai dengan teori proses Austempering.</p> <p>2. Hasil uji impak nilai ketangguhan tertinggi pada waktu tahan 60 menit dan nilai ketangguhan terendah pada waktu tahan 20 menit.</p> <p>3. Dari hasil pengujian nilai kekerasan berbanding terbalik dengan nilai</p>

Sumber: (Telah diolah)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Timah

Timah punya sifat tidak mudah [korosi](#) tetapi tidak tahan terhadap asam dan alkali. Timah biasa digunakan sebagai lapisan pelindung untuk logam lain. Lapisan ini berguna mencegah oksidasi lanjutan oleh oksigen yang ada di udara atau air. Akan tetapi pada suhu tinggi timah dapat bereaksi dengan oksigen membentuk oksida timah. Akan tetapi timah terbagi menjadi 2 jenis yaitu timah hitam (Pb) dan timah putih (Sn).

1. Timah Hitam (Pb)

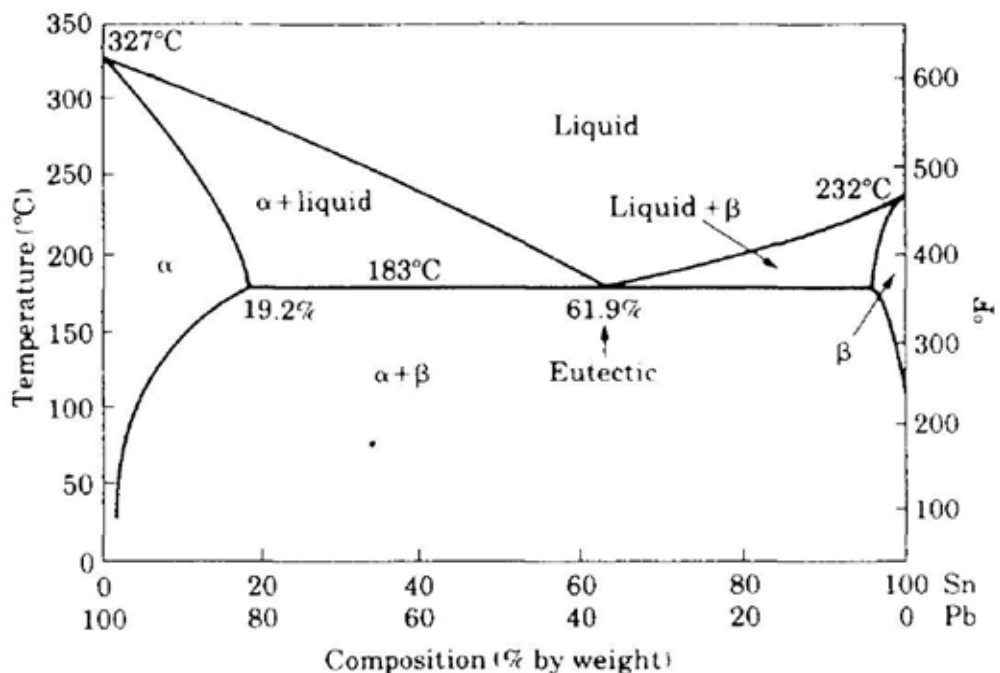
Timbel adalah unsur logam kelabu kebiruan dan berat. Ribuan tahun yang lalu manusia menggunakan untuk bahan bangunan, tembikar, dan benda lain. Timbel penting bagi industri yang menghasilkan bahan kimia, energi nuklir, dan minyak bumi. Timbel mudah ditempa dan ditarik menjadi kawat. Timbel tahan terhadap air dan asam sulfat karena terlindung oleh lapisan oksida tipis. Timbel mempunyai lambang kimia Pb (dari nama Latin Plumbum), dengan nomor atom 82, masa atom relatif 207,19. Timbel meleleh pada $327,5^{\circ}\text{C}$ dan mendidih pada 1740°C . Rapatannya timbel 11,35 gram per sentimeter kubik. Penggunaan terbesar timbel adalah dalam pembuatan aki. Aki menggunakan lempeng spons timbel dan timbel dioksida serta aliase timbel stibium. Penggunaan terbanyak kedua adalah untuk membuat peramu bensin (tetraetiltimbel) agar penampilan motor bakarnya meningkat, namun gas buangnya akan mencemari lingkungan. Selanjutnya timbel digunakan untuk membuat cat dan zat warna, bahan peledak, insektisida, dan produk karet. Timbel juga digunakan untuk menutupi kabel telepon karena timbel tidak menghantarkan listrik dengan baik (Ensiklopedia Nasional Indonesia, 1997 : 323).

2. Timah Putih (Sn)

Timah atau timah putih (untuk membedakannya dari timbel yang secara salah kaprah disebut timah hitam) adalah unsur berupa logam putih lunak, mudah ditempa, bewarna putih keperakan. Timah mempunyai lambang kimia Sn, nomor atom 50, masa atom relatif 118,71, dan rapatannya 7,2984 gram per

sentimeter kubik. Timah meleleh pada 232.0°C dan mendidih pada 270°C . Timah termasuk logam yang sudah dikenal dan digunakan sejak zaman kuno. Sekitar 3500 SM orang di kota Ur.Mesopotamia utara (sekarang Irak) menggunakan benda-benda perunggu suatu aliase timah dan tembaga (Ensiklopedia Nasional Indonesia , 1997 : 314). Di Indonesia timah mulai ditemukan sekitar tahun 1709 di Pulau Bangka, yang mula mula digali di Sungai Olin di Kecamatan Toboali oleh orang-orang johor atas pengalaman mereka di semenanjung Malaka. Dengan diketemukannya timah ini, mulailah Pulau Bangka disinggahi oleh segala macam perahu dari Asia maupun Eropa. Perusahaan-perusahaan penggalian timah pun semakin maju, sehingga Sultan Palembang mengirimkan orang-orangnya ke Semenanjung Negeri Cina untuk mencari tenaga-tenaga ahli yang kian terasa sangat diperlukan. Pada tahun 1717 mulai diadakan perhubungan dagang dengan VOC untuk penjualan timah (Erwiza Erman, 1992: 56)

2.2.2 Paduan Sn - Pb



Gambar 2.1 Diagram fasa Pb-Sn

Sumber; (Literatur 1)

Diagram fasa merupakan suatu kumpulan kurva limit kelarutan. Tiga pasangan kurva ini menghasilkan diagram Pb-Sn :

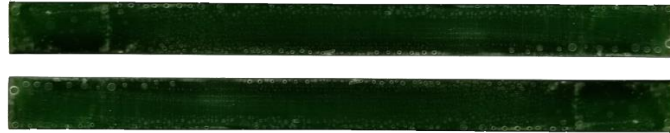
1. Limit kelarutan timah membentuk fasa fcc yang disebut α (alpha) dan limit kelarutan timbal bct disebut β (beta). Kurva ini berlaku pada suhu tanpa cairan.
2. Limit kelarutan Sn pada logam cair (61,9%b Sn pada 183 derajat Celcius hingga 100%b Sn pada 232 derajat celcius). Limit kelarutan timbal pada logam cair (38,1%b Pb pada suhu 183 derajat celcius hingga 100%b Pb pada 327 derajat celcius).
3. Limit kelarutan timah pada alpha dan timbal pada beta, ketika ada cairan. Kurva pertama turun dari 19,2%b Sn pada 183 derajat celcius menjadi 0 pada titik cair timbal (327 derajat celcius). Kurva berikutnya turun dari 2,5%b Pb pada 183 derajat celcius menjadi 0 pada titik cair timah (232 derajat celcius).

Diagram ini memperlihatkan komposisi fasa dan berguna untuk menghitung kuantitas fasa setiap campuran tibal-timah pada sembarang suhu.

1. Suhu dan komposisi eutektik :
timbal murni mencair pada 327 derajat celcius dan timah murni mencair pada suhu 232 derajat celcius. Paduan timah-timbal mencair pada suhu lebih rendah yaitu 183 derajat celcius pada 61,9%b Sn – 38,1%b Pb.
2. Label huruf Yunani lebih dikenal dibanding nama fasa, karena lebih mudah diingat.
3. Alpha dan beta merupakan label paduan padat Pb-Sn. Alpha memiliki struktur fcc timbal namun mengandung timah hingga limit kelarutan. beta memiliki struktur bct timah tetapi mengandung timah seperti yang ditunjukkan kurva.

2.2.3 Liquid Photopolymer Resin

Suatu *photopolymer* atau resin yang diaktifkan dengan cahaya adalah suatu polimer yang mengubah sifat-sifatnya ketika terpapar cahaya, seringkali dalam daerah *ultraviolet* atau terlihat dari spektrum elektromagnetik. Gambar ilustrasi resin setelah proses pencetakan dengan DLP 3D *Printer* seperti pada Gambar 2.2 dibawah ini. (Monocure 3D, 2019).

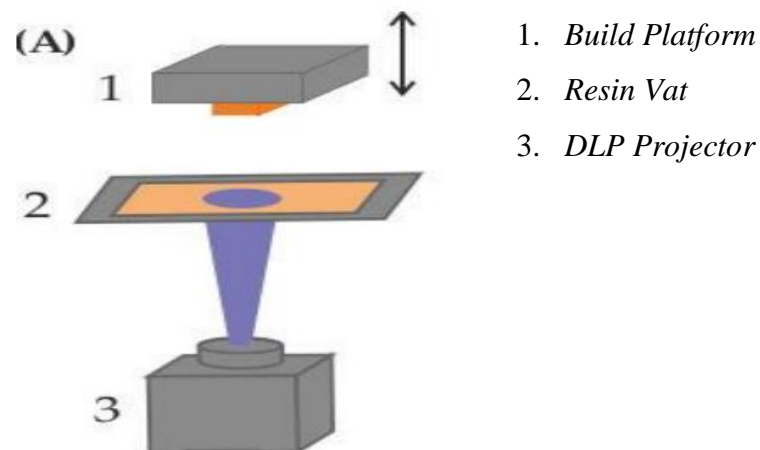


Gambar 2.2 *Liquid photopolymer resin* setelah proses pencetakan

Sumber: (Literatur 9)

2.2.4 DLP (*Digital Light Processing*) 3D Printer

Suatu teknologi pembuatan objek menggunakan sinar *ultraviolet* untuk membekukan permukaan *photopolymer* dengan petunjuk *format* STL. Proses berlanjut lapisan demi lapisan hingga *part* terbentuk. Dalam teknik SLA, sebuah *prototipe* dibuat dengan cara menembakkan sinar laser ke permukaan sebuah wadah (*vat*) yang berisi cairan *photopolymer* (resin). Cairan ini akan langsung mengeras saat laser mengenai permukaannya. Setelah satu layer selesai dikerjakan, sebuah platform digerakkan turun beberapa milimeter, sebuah penyapu (*recoater blade*) membersihkan sisa-sisa resin di permukaan, dan *layer* berikutnya dikerjakan di atas *layer* yang telah diselesaikan, seperti terlihat pada Gambar 2.3. (*American Chemical Society*, 2017).



Gambar 2.3 Cara Kerja DLP 3D Printer

Sumber: (Literatur 9)

2.2.5 *Silicone Rubber* (Karet Silikon)

Karakteristik unik dan harga jual yang lebih tinggi dibandingkan elastomer lain pada umumnya membuat karet silikon biasanya dibedakan sebagai elastomer spesial, meskipun karet ini meningkatkan biaya alternatif dalam berbagai aplikasinya. Dua jenis silikon elastomer memiliki sifat

tersebut, yaitu karet termoset yang divulkanisir dengan panas dan karet room-temperature vulcanizing (RTV) (Ciullo, 1996). polimer silikon utama adalah polidimetilsiloksan dengan rantai utama Si-O dan dua gugus metil pada setiap silikon. Rantai utama Si-O memberikan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap ozon, oksigen, panas (hingga 315 °C), sinar UV, kelembaban, dan efek cuaca secara umum. Sedangkan pengganti gugus metil memberikan tingkat fleksibilitas yang tinggi. (Ciullo, 1996) Semenjak karet silikon diproduksi dengan proses kondensasi dari oligomer PDMS siklik utama, sebagian besar produksi PDMS menjadi karet. Konsentrasi yang paling sering digunakan untuk bisa ekstraksi oligomer adalah antara 1 hingga 5 wt%. Setelah penghilangan bagian yang bisa diekstraksi, masih memungkinkan untuk adanya oligomer ini sejak reaksi kondensasi yang berjalan terbalik hanya sedikit. Sehingga itulah kenapa sangat sulit untuk memproduksi karet silikon tanpa mengandung oligomer (Owens, 2012).

Sifat – sifat dari silikon elastomer sebagai berikut :

- Temperature temperatur penggunaan yang relatif tinggi
- Stabilitas terhadap oksidasi/degradasi
- Sifat Stabil mekanik dan dinamik dalam berbagai tingkat temperatur
- Stabil terhadap degradasi sinar UV
- Lambat terbakar dengan kepadatan asap rendah dan rendah kandungan racunnya
- Tidak membutuhkan tambahan teknologi untuk memberikan panas / stabilitas sinar UV
- Material murni dan sangat cocok untuk aplikasi yang berhubungan dengan makanan dan medis
- Mudah untuk diproses

Sedangkan kelemahan utama yang dimiliki oleh silikon elastomer adalah:

- Relatif rendah modulus elastisitasnya, kekuatan tarik, dan kekuatan tear pada temperatur 15 – 25°C
- Mampu dilalui gas dan fluida
- Relatif tinggi biaya bahan dasarnya

Pada umumnya, karet silikon merupakan campuran berkekuatan rendah yang berguna pada tingkat temperatur -80 hingga 450 °F (-62.2 hingga 232.2 °C). Karet silikon juga mempunyai ketahanan terhadap api, cahaya, dan ozon yang sangat baik. Karet silikon biasanya kurang tahan terhadap fluida. Karet silikon sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap panas karena mempunyai temperatur transisi glass yang rendah yaitu -197 °F (-127.2 °C) sehingga membuatnya memiliki fleksibilitas pada temperatur rendah yang cukup baik. Campuran yang berbasis karet silikon mempunyai kekuatan tear yang sangat rendah dan pada biasanya tidak cocok untuk aplikasi dinamik. (Dick, 2001).

Menurut *Owens* (2012) Sifat permukaan karet silikon dipengaruhi oleh empat karakteristik struktural, yaitu :

1. Gaya intermolekul yang rendah antara gugus metil
2. Fleksibilitas yang tinggi dari rantai utama siloksan
3. Kekuatan yang tinggi dari ikatan siloksan
4. Ionik parsial alami yang dimiliki oleh ikatan siloksan

Sifat utama dari silikon elastomer dapat dimodifikasi dengan mengganti sebagian besar gugus metil dengan *phenyls* dan/atau vinil. Gugus fenil meningkatkan fleksibilitas pada temperatur rendah (hingga -100 °C) tanpa menurunkan sifat tahan temperatur tingginya. Gugus vinil meningkatkan ketahanan kompresi dan kemudahan dalam vulkanisasi (Ciullo, 1996). Modifikasi sifat utama silikon elastomer juga dijelaskan oleh Nagdi (1993) bahwa Penambahan gugus trifluoropropil pada rantai polimer menghasilkan jenis karet silikon khusus yang umumnya dikenal sebagai karet fluorosilikon (FMQ dan FVMQ). Vulkanisasi karet ini menghasilkan sifat ketahanan terhadap minyak, bahan bakar, dan macam-macam pelarut yang sangat baik dengan tetap memiliki sifat memiliki sifat dasar dari silikon elastomer.

2.2.6 *Silicone Mold Max 60™*

Silikon mold max 60™ adalah salah satu jenis karet silikon yang dapat menahan panas hingga 560°F/294°C. Cetakan karet silikon ini akan mereproduksi detail terbaik dari berbagai aplikasi industri dan seni yang terkait termasuk mereproduksi *prototipe*, *furnitur*, patung dan elemen arsitektur. Gunakan mereka untuk melemparkan berbagai bahan termasuk lilin, gipsum, paduan logam rendah/ logam dan uretan, *resin epoksi* atau *polyester*. (SmootOn 2019).

2.2.7 *Vacum Chamber*

Alat ini di gunakan untuk memampatkan dan mengangkat udara yang mengisi di celah celah dalam *liquid silicone Mold Max60 tm* dari hasil adukan antara *silicone* dan *catalis* ini akan menghasilkan gelembung-gelembung udara di dalam *liquid*, hal ini tentunya akan berpengaruh pada kepadatan volume *silicone* serta hasil kehalusan permukaan cetakan ketika sebelum di keringkan. Vakum 23 Dalam penggunaan sehari-hari, vakum adalah volume ruang yang kosong pada dasarnya adalah materi, seperti bahwa tekanan gas jauh lebih kecil dari pada tekanan atmosfer. Keadaan vakum dapat dibedakan menjadi 3, yaitu soft vacuum (Ruang bertekanan 10-2 pa), hard vacuum (< 10-2 pa), dan Ultrahigh vacuum (< 10-7Pa). Untuk mengukur kadar vakum suatu ruangan dibutuhkan suatu alat yang dapat membandingkan tekanan dalam ruang tersebut, salah satunya adalah preesure gauge (Darsono, Suprpto, Djasmin, 1999).

Alat yang digunakan untuk membuat keadaan menjadi vakum adalah vacuum pump (pompa vakum). Pompa vakum adalah alat yang menghilangkan molekul gas dari volume yang tertutup rapat untuk meninggalkan vakum parsial. Kecepatan pemompaan mengacu pada laju aliran volume sebuah pompa pada bagian inlet, sering diukur dalam volume per unit waktu. Momentum transfer dan jebakan pompa akan lebih efektif pada beberapa gas daripada yang lain, sehingga tingkat memompa dapat berbeda untuk masing-masing gas yang dipompa, dan rata-rata laju aliran volume pompa akan bervariasi tergantung pada komposisi kimia dari sisa gas di ruangan. Cara kerja dari pompa vakum adalah sebagai berikut, gaya

sentrifugal yang ditimbulkan dari motor mendorong baling-baling untuk saling menekan yang menciptakan ruang untuk udara masuk dari inlet. Setelah udara terperangkap di dalam pompa, baling-baling tersebut kembali saling menekan yang akan mendorong udara tersebut keluar dari pompa vakum melalui exhaust (Darsono, Suprpto, Djasmin. 1999).

2.2.8 Pengecoran Logam

Pengecoran merupakan salah satu proses pembentukan bahan baku/bahan benda kerja dengan proses peleburan/pencairan logam di dalam tungku peleburan yang kemudian hasil peleburan di masukkan kedalam cetakan. Tahapan dalam proses pengecoran adalah pembuatan model (pola), pembuatan cetakan, peleburan logam, menuang logam ke dalam cetakan, dan membongkar serta membersihkan hasil pengecoran (Surdia, 1982).

2.2.9 Perkembangan Teknik Pengecoran Logam

Sejak tahun 4000 sebelum Masehi teknologi pengecoran terus berkembang mengikuti perkembangan material dan perkembangan teknologi lainnya yang ikut berkontribusi bagi proses pengecoran. Penemuan-penemuan di bidang elektronika juga berdampak pada perkembangan proses pengecoran yang lebih produktif dan efisien. Sistem robot masuk ke dalam proses pengecoran sekitar tahun 1970 Masehi dan sejak itu proses pengecoran terus mengalami penyempurnaan dalam berbagai bagian baik sistem produksi maupun manajemen produksinya. Secara umum berbagai penemuan penting dalam perkembangan teknologi pengecoran dirangkum sebagai berikut:

- 4000 SM : Berbagai perhiasan dibuat dengan cara pengecoran.
- 2500 SM : Pengecoran dengan pola lilin mulai dikenal.
- 2000 SM : Paduan tembaga mulai dikembangkan.
- 1500 SM : Mesir menggunakan tungku pelebur dengan peniup (cikal13 bakal tanur kupola).
- 1000 SM : Awal jaman besi, namun cara peleburan besi belum ditemukan.
- 500 SM : Cina menemukan cara peleburan besi.

- 500 SM : Tuangan berongga dikembangkan di Yunani dari bahan perunggu.
- 200 SM : Cina mengembangkan teknik pengerjaan panas.
- 70 M : Pilinus SR, mulai memasyarakatkan pengetahuan teknik pengolahan dan pengerjaan logam.
- 747 M : Jepang membuat patung budha seberat 380 ton (rekor tuangan tembaga terberat di dunia, sampai saat ini belum terpecahkan).
- 1707 M : A Darby (inggris) mendapatkan hak kapten untuk menggunakan cetakan dengan pasir cetak.
- 1740 M : Huntsman (inggris) menemukan cara peleburan baja.
- 1860 M : Tanur kapola dengan konstruksi modern mulai.
- 879 M : Wilhelm Siemens memperkenalkan tanur bertenaga listrik pertama, yaitu tanur busur api.
- 1890 M : Mekanisasi pengecoran dengan ban berjalan dikembangkan di *pittsburg* USA.
- 1891 M : Kjellin memperkenalkan tanur induksi frekwensi rendah.
- 1893 M : H. Rolle mendapatkan hak paten pengecoran dengan cetakan logam dan merupakan pengecoran pertama dengan cara ini.
- 1915 M : Pengecoran sentrifugal pertama kali digunakan di sao Paulo, Brazil.
- 1943 M : Johannes Croning mendapatkan hak paten untuk penemuannya yaitu cetakan kulit.
- 1942 M : Pengembangan besi tuang kelabu menjadi besi tuang kelabu bergrafit bulat.
- 1955 M : Analisa panas mulai digunakan pada pabrik pengecoran.
- 1970 M : Robot memasuki industri pengecoran.¹⁴

Peralihan menuju ke produksi massal menuntun para ahli pengecoran untuk merencanakan peralatan peleburan, pembuatan cetakan dan pengerjaan akhir yang mampu bekerja terus menerus secara mekanis. (Surdia, Tata dan Chijiiwa, Kenji, 1991).

2.2.10 Gravity Casting

Metode pengecoran yang sering digunakan dan paling sederhana adalah menggunakan metode pengecoran gravitasi. Dalam pengecoran gravitasi lelehan dituangkan secara manual dari cawan ke dalam cetakan yang ditempatkan di bawah cawan. Logam cair memperoleh kecepatan logam cair meningkat dengan meningkatnya ketinggian drop. Penelitian terbaru tentang proses pengecoran gravitasi telah menunjukkan bahwa logam cair dengan mudah melampaui kecepatan kritis 0,5 m / detik dan masuk ke dalam rongga cetakan dengan cara yang bergejolak. Kecepatan dampak tinggi dan aliran turbulen logam menghasilkan erosi permukaan cetakan, reoksidasi logam dan pemasukan gas dan inklusi oksida dalam pengecoran. (Amit Jyoti Banerjee, Gopal Prasad Sinha, 2007).

2.2.11 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah satu pengujian dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang relative kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi benda uji. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekankan penekanan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk di atasnya (Surdia, 2000)

Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan yang tergantung pada cara melakukan pengujian. Ketiga jenis tersebut adalah kekerasan goresan, kekerasan lekukan, dan kekerasan pantulan. Akan tetapi pengujian yang sering dilakukan adalah pengujian penekanan. Pada pengujian penekanan terdapat beberapa alat uji yang dapat digunakan, antara lain dengan alat uji kekerasan *Vickers*, uji kekerasan *Rockwell*, dan uji kekerasan *Brinell*.

2.2.12 Uji Kekerasan Brinell

Metode uji kekerasan yang di ajukan oleh *J.A Brinell* pada tahun 1900an ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan dan di susun pembakuannya (dieter, 1987). Uji kekerasan *Brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola yang terbuat dari baja crom yang telah disepuh ke permukaan benda uji tanpa sentakan. Tekanan yang digunakan

berupa gaya tekan statis. Bola *Brinell* mempunyai standar dengan diameter (D) sama dengan 10 mm dengan penyimpangan maksimum saat beban tekan bekerja 0,005 mm. Selain itu masih ada bola lain dengan diameter 0,65 mm, 1 mm, 1.25 mm, 2 mm, 2.5 mm, dan 5 mm. Pengujian kekerasan harus dilakukan sampai pada batas plastis suatu benda uji, karena bila masih berada pada batas elastis benda uji maka di khawatirkan bekas pijakan akan kembali lagi, walaupun tidak pada kondisi semula.



Gambar 2.4 Alat Uji Kekerasan *Brinell*

Sumber: (Dokumentasi)

Pada pengujian BHN (*Brinell Hardness Number*), besar beban yang bekerja tergantung pada diameter bola penetrator dan jenis benda uji. Tebal benda uji harus cukup sehingga setelah pengujian tidak memperlihatkan tanda-tanda deformasi pada permukaan baliknya. Biasanya tebal benda uji minimum 8 kali h, sedangkan h didapat dari :

$$h = \frac{P}{\pi d \times HB}$$

Tabel 2.2 Penggunaan diameter penetrator

Tebal benda uji (mm)	Diameter penetrator (mm)
1 – 3	D = 2,5
3 – 6	D = 5,0
>6	D = 10

Sumber: (Literatur 10)

Untuk mengetahui besarnya nilai kekerasan *Brinell*, maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$BHN = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - dr^2})} = \text{kg/mm}^2$$

Gambar 2.5. Rumus Harga Kekerasan *Brinell*

Sumber: (Literatur 10)

Dimana:

HB = Nilai Kekerasan *Brinell* (BHN)

P = Beban tekan penetrator (kg)

D = Diameter penetrator (mm)

dr = Diameter rata-rata bekas tapak penetrator (mm)

2.2.13 Metode *Analysis Of Variance (Two-Way ANOVA)*

(Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar, 2018) Asumsi adanya homogenitas variansi menjelaskan bahwa variansi dalam masing-masing kelompok dianggap sama, sedangkan asumsi bebas menjelaskan bahwa variansi masing-masing terhadap rata-ratanya pada setiap kelompok bersifat saling bebas. Jadi secara umum analisis variansi adalah suatu prosedur untuk uji perbedaan *mean* beberapa populasi (lebih dari dua). Untuk mengetahui apakah asumsi tersebut terpenuhi, maka dilakukan uji IIDN (Identik, Independen dan Distribusi Normal). Asumsi tersebut dapat dilihat dengan membuat grafik berdasarkan residual dari selisih data hasil pengujian aktual dan data hasil prediksi, ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$Residual = actual\ value - predicted\ value \quad (2.1)$$

Two-Way ANOVA (analysis of variance) pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh perbedaan beberapa variabel bebas (faktor) dengan variabel terikat (respon) dan masing-masing variabel memiliki dua taraf (*level*). Untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap respon, maka pada ANOVA perlu dihitung jumlah-jumlah kuadrat. Adapun langkah-langkah menghitung dengan *Two-Way ANOVA*, yaitu :

- a) Asumsikan bahwa data masing-masing dipilih secara acak
 b) Asumsikan bahwa data masing-masing berdistribusi normal
 c) Menentukan hipotesis :

- $H_0 : b_1 = b_2 = b_3 = \dots = \mu_a$ (tidak ada efek terhadap perlakuan)
- $H_1 : b_1 \neq b_j$ (terdapat efek terhadap perlakuan)

- d) Menentukan jumlah kuadrat total :

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.2)$$

- e) Menentukan jumlah kuadrat faktor A dengan rumus:

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} (A_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.3)$$

- f) Menentukan jumlah kuadrat faktor B dengan rumus:

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^{k_B} (B_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.4)$$

- g) Menentukan jumlah kuadrat faktor C dengan rumus:

$$SS_C = \left[\sum_{i=1}^{k_C} (C_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.5)$$

- h) Menentukan jumlah kuadrat interaksi faktor A,B dan C:

$$SS_{AxBxC} = \left[\sum_{i=1}^c \left(\frac{(AxBxC)_i^2}{n_{AxBxC_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B - SS_C \quad (2.6)$$

- i) Menentukan jumlah kuadrat kemungkinan kesalahan (*error*):

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AxBxC} \quad (2.7)$$

- j) Menentukan derajat kebebasan total:

$$v_T = N - 1 \quad (2.8)$$

- k) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) A :

$$v_A = k_A - 1 \quad (2.9)$$

- l) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) B:

$$v_B = k_B - 1 \quad (2.10)$$

- m) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) C :

$$v_C = k_C - 1 \quad (2.11)$$

n) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan B:

$$v_{AxB} = (v_A)(v_B) \quad (2.12)$$

o) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan C:

$$v_{AxC} = (v_A)(v_C) \quad (2.13)$$

p) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi B dan C:

$$v_{BxC} = (v_B)(v_C) \quad (2.14)$$

q) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A, B dan C:

$$v_{AxBxC} = (v_A)(v_B)(v_C) \quad (2.15)$$

r) Menentukan derajat kebebasan kemungkinan kesalahan (*pure error*) :

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_C - v_{AxB} - v_{AxC} - v_{BxC} - v_{AxBxC} \quad (2.16)$$

s) Melengkapi tabel hasil uji nilai kekerasan untuk *analysis of variance* dari data yang didapat.

t) Menentukan taraf signifikansi (α)

u) Menentukan nilai distribusi F_{TABEL}

$$F_{TABEL} = F_{(1-\alpha)(v,v_T)} \quad (2.17)$$

v) Jika $F_{HITUNG} (F_0) < F_{TABEL}$, maka hipotesis (H_0) dapat diterima.

w) Menentukan persentase kontribusi faktor terhadap respon:

$$\% \text{ Kontribusi faktor} = \frac{(SS - SS_e)}{SS_T} \quad (2.18)$$

Tabel 2.3 ANOVA Table For Select Factorial Model

Source	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
Overall model	SS_{model}	$(k_A k_B) - 1$	$SS_{model} / (k_A k_B) - 1$	MS_{model} / MS_E
Main Effect of A	SS_A	v_A	SS_A / v_A	MS_A / MS_E
Main Effect of B	SS_B	v_B	SS_B / v_B	MS_B / MS_E
Main Effect of C	SS_C	v_C	SS_C / v_C	MS_C / MS_E
A x B interaction	SS_{AB}	v_{AxB}	SS_{AB} / v_{AxB}	MS_{AB} / MS_E
A x C interaction	SS_{AC}	v_{AxC}	SS_{AC} / v_{AxC}	MS_{AC} / MS_E
B x C interaction	SS_{BC}	v_{BxC}	SS_{BC} / v_{BxC}	MS_{BC} / MS_E
A x B x C interaction	SS_{ABC}	v_{AxBxC}	SS_{ABC} / v_{AxBxC}	MS_{ABC} / MS_E
Error	SS_E	v_e	SS_E / v_e	
Total	SS_{Total}	v_T		

Sumber: (Literatur 14)

