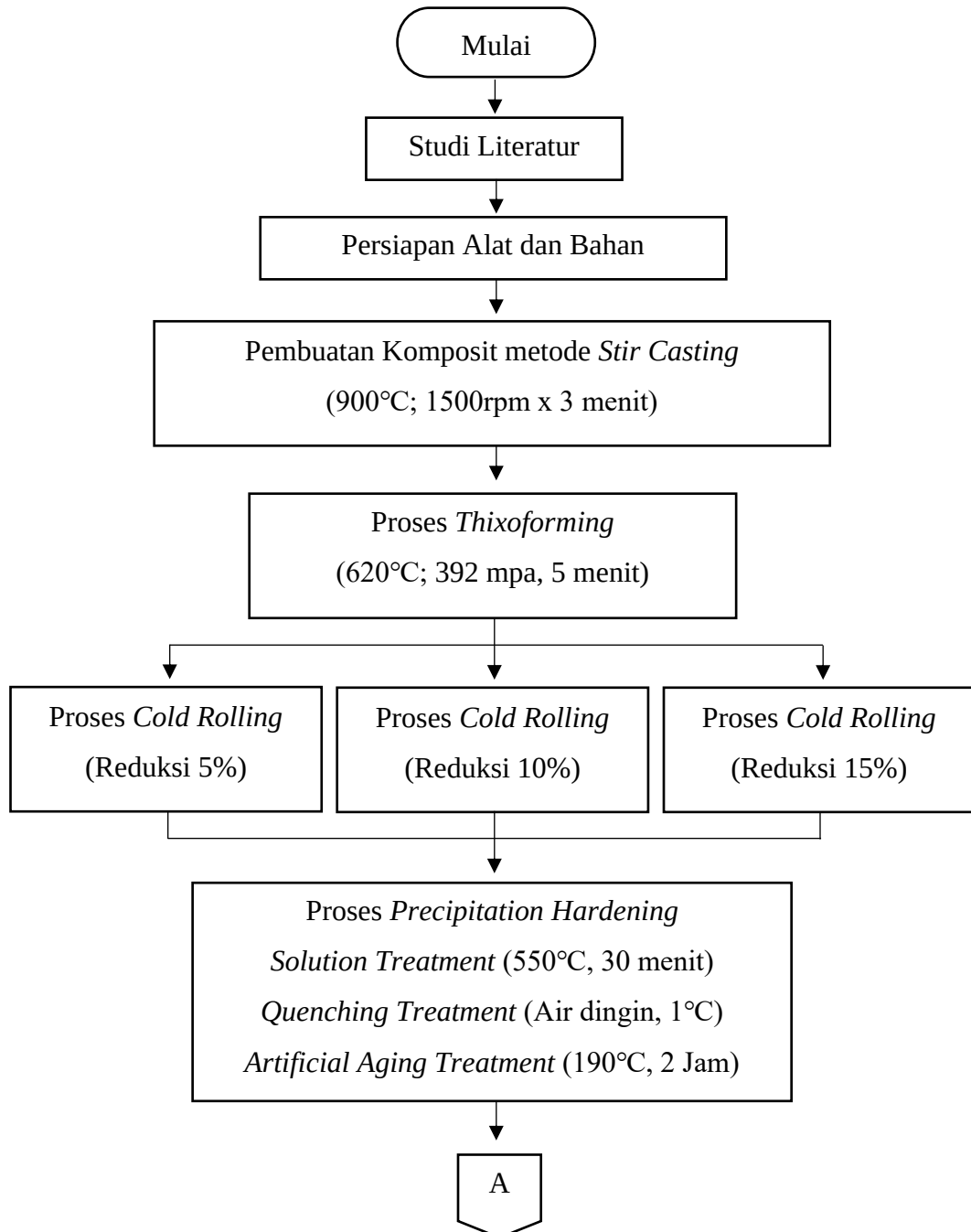


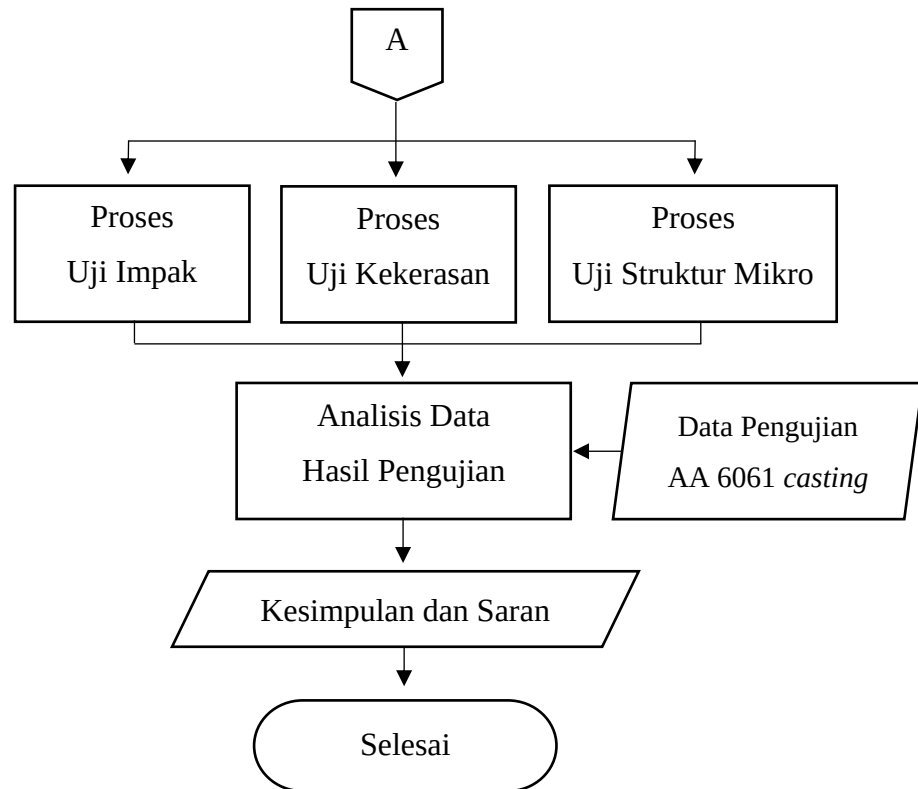
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.2.1 Alat

Berikut adalah alat yang digunakan

1. Peralatan K3 (Sarung tangan, *wearpack*, dan Kacamata)

Alat ini digunakan untuk melindungi tubuh, tangan, dan mata dari ancaman keselamatan seperti panas pada tungku, percikan gerinda, dan partikel yang dapat menyebabkan cedera selama penelitian.



Gambar 3.2 Peralatan Keselamatan

2. Alat Pemadam Api Ringan (APAR)

APAR adalah alat pemadam kebakaran yang digunakan untuk memadamkan api kecil. Ini membantu mengantisipasi kebakaran yang mungkin terjadi pada peralatan yang menghasilkan panas tinggi, seperti pada proses *stir casting* dan *thixoforming*.



Gambar 3.3 Alat Pemadam Api Ringan

3. *Dies* (cetakan)

Cetakan yang digunakan untuk membentuk material komposit menjadi bentuk tertentu dalam penelitian ini, komposit aluminium setelah proses *stir casting* dan *thixoforming* dicetak dengan *dies*.



Gambar 3.4 Cetakan Spesimen

4. Timbangan Digital

Digunakan untuk mengukur massa digunakan untuk memastikan komposisi material yang tepat selama proses pembuatan komposit AA 6061 berpenguat Alumina (Al_2O_3) dengan akurasi 0,00.



Gambar 3.5 Timbangan Digital

5. Tungku *Stir Casting*

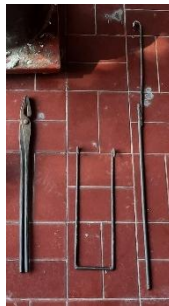
Tungku ini digunakan untuk mencampur dan mencairkan berbagai jenis logam, termasuk komposit aluminium dan alumina, sehingga campuran menjadi tercampur sebelum dicetak.



Gambar 3.6 Tungku *Stir Casting*

6. Alat Penunjang *Stir Casting*

Merupakan peralatan tambahan yang digunakan untuk mendukung proses *stir casting*, seperti mata bor pengaduk, pengangkat *crucible*, dan tang besi yang juga digunakan pada proses *thixoforming*.



Gambar 3.7 Alat Penunjang *Stir Casting*

7. *Crucible*

Crucible adalah wadah tahan panas yang digunakan untuk melelehkan logam, seperti aluminium, dalam tungku. *Crucible* terbuat dari material besi yang tahan suhu 900°C tanpa mengalami deformasi atau kerusakan.



Gambar 3.8 *Crucible*

8. Kepala *Torch*

Kepala *torch* adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan api atau panas, alat ini digunakan untuk memanaskan cetakan sebelum komposit cair dituang ke cetakan.



Gambar 3.9 Kepala *Torch*

9. Mesin Bor

Mesin bor berfungsi sebagai pengaduk selama proses *stir casting*. Digunakan untuk mencampur komposit secara merata selama proses pembuatan komposit.



Gambar 3.10 Mesin Bor Pengaduk

10. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur presisi yang digunakan untuk mengukur dimensi fisik seperti ketebalan, lebar, dan panjang dengan tepat.



Gambar 3.11 Jangka Sorong

11. Gerinda

Gerinda adalah alat yang digunakan untuk menghaluskan atau memotong komposit dengan menggunakan roda abrasif berputar.



Gambar 3.12 Mesin Gerinda

12. Muffle Furnace

Muffle Furnace adalah alat yang digunakan untuk memanaskan spesimen komposit pada proses *thixoforming* dan *precipitation hardening*.



Gambar 3.13 Muffle Furnace

13. Mesin Press

Setelah material dipanaskan ke kondisi *semi-solid*, mesin press digunakan untuk proses *thixoforming*. Mesin ini memberikan tekanan pada material untuk membentuk sesuai dengan cetakan, memanfaatkan keadaan *semi-solid* untuk menghasilkan komponen dengan struktur dan sifat mekanik yang lebih baik.



Gambar 3.14 Mesin Press

14. Thermogun

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu permukaan material secara non-kontak dengan menggunakan sensor inframerah. Alat ini sangat penting untuk mengawasi suhu selama proses *stir casting* dan *thixoforming*.



Gambar 3.15 Thermogun

15. Mesin Rolling

Mesin *rolling* digunakan untuk mereduksi ketebalan spesimen yang bertujuan untuk mencapai ketebalan yang diinginkan dan memperbaiki struktur mikro material sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik komposit tersebut.



Gambar 3.16 Mesin *Rolling*

16. Wadah Air

Wadah air digunakan untuk *quenching*, yaitu proses pendinginan cepat material setelah pemanasan pada proses *quenching*.



Gambar 3.17 Wadah Air

17. Mesin *Grinding Polishing*

Mesin ini digunakan untuk menghaluskan dan memoles permukaan material sehingga siap untuk diperiksa di bawah mikroskop untuk analisis struktur mikro.



Gambar 3.18 Mesin Grinding dan Polishing

18. Alat Uji Kekerasan Rockwell

Metode Rockwell digunakan untuk mengukur kekerasan material. Pengujian ini melibatkan menekan indenter ke permukaan material sehingga dapat mengukur kekerasan suatu material.



Gambar 3.19 Alat Uji Kekerasan Rockwell

19. Alat Uji Impak

Alat Uji Impak digunakan untuk mengukur kekuatan atau ketangguhan material terhadap kuat benturan.



Gambar 3.20 Alat Uji Impak

20. Alat Uji Struktur Mikro

Alat uji struktur mikro yang digunakan adalah *Scanning Electron Microscopy*, dengan ini detail struktur mikro dalam material dapat divisualisasikan dan dianalisis dengan resolusi tinggi.



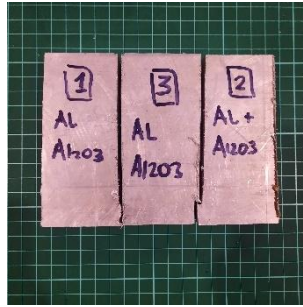
Gambar 3.21 Alat Uji Struktur Mikro

3.2.2 Bahan

Berikut adalah alat yang digunakan

1. Aluminium Al 6061

Aluminium Al 6061 adalah bahan utama yang digunakan. Paduan aluminium digunakan karena kombinasi sifat mekanik yang baik, ketahanan korosi, dan memiliki massa yang ringan.



Gambar 3.22 Aluminium Al 6061

2. Bubuk Alumina (Al₂O₃)

Alumina adalah bahan yang digunakan sebagai penguat dalam komposit aluminium untuk meningkatkan sifat mekanik



Gambar 3.23 Alumina

3. *Liquefied Petroleum Gas*

Gas ini digunakan sebagai sumber bahan bakar dalam proses *stir casting* untuk mencairkan aluminium dan menjaga suhu yang dibutuhkan selama proses pencampuran.



Gambar 3.24 Gas LPG

4. Air

Air digunakan dalam proses *quenching* untuk mendinginkan material dengan cepat setelah pemanasan, yang membantu mengontrol struktur mikro dan sifat mekanik material.



Gambar 3.25 Air

5. Es Batu

Digunakan untuk mendinginkan air yang dipakai dalam proses quenching, membantu mencapai suhu yang lebih rendah untuk pendinginan yang lebih cepat dan efektif.



Gambar 3.26 Es Batu

6. Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan permukaan material sebelum pemolesan dan analisis digunakan untuk mempersiapkan sampel uji struktur mikro.



Gambar 3.27 Amplas

7. Bludru

Kain bludru digunakan dalam proses pemolesan akhir pada persiapan uji struktur mikro untuk mencapai permukaan yang sangat halus pada sampel.



Gambar 3.28 Bludru

8. Pasta Alumina

Pasta ini digunakan selama proses pemolesan sampel uji struktur mikro untuk menghilangkan goresan halus dan mencapai permukaan yang sangat halus dan siap untuk dianalisis dengan mikroskop.



Gambar 3.29 Pasta Alumina

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang dilakukan selama penelitian berlangsung adalah sebagai berikut.

3.3.1 Proses *Stir Casting*

Proses *stir casting* dilakukan untuk menyatukan dua material untuk membentuk suatu material komposit. Material komposit yang digunakan adalah Aluminium Al 6061 sebanyak 95% dan penguat Alumina (Al_2O_3) sebanyak 5%. Berikut adalah tahapan proses *stir casting* yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

1. Tahapan pertama dalam proses *stir casting* adalah memotong aluminium menjadi potongan-potongan yang sesuai agar dapat dengan mudah dimasukkan ke dalam *crucible*. Pemotongan ini dilakukan dengan menyesuaikan ukuran *crucible* yang digunakan, proses pemotongan dilakukan dengan menggunakan gerinda duduk dan peralatan keselamatan seperti sarung tangan dan kacamata *safety*



Gambar 3.30 Pemotongan Aluminium

2. Setelah aluminium dipotong, langkah selanjutnya adalah menimbang bahan-bahan utama, yaitu Aluminium Al 6061 dan bubuk Alumina (Al_2O_3). Dalam komposisi yang digunakan, aluminium memiliki persentase 95%, sementara alumina sebanyak 5%. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan timbangan digital yang memiliki akurasi tinggi untuk memastikan rasio yang tepat antara aluminium dan alumina. Komposisi yang tepat sangat penting karena hal ini akan mempengaruhi sifat mekanik dan karakteristik komposit yang dihasilkan.



Gambar 3.31 Penimbangan Komposisi Komposit

3. Peralatan yang diperlukan untuk proses *stir casting*, termasuk tungku, *crucible*, alat pengaduk, mesin bor yang dimodifikasi, cetakan, dan peralatan keselamatan kerja (K3). Proses persiapan ini dilakukan untuk memastikan bahwa semua alat bekerja dengan benar dan tidak mengalami masalah selama proses.
4. Setelah potongan-potongan aluminium dipersiapkan dan peralatan sudah siap, aluminium dimasukkan ke dalam *crucible*. *Crucible* ini akan berfungsi sebagai wadah untuk melelehkan aluminium pada suhu tinggi. Aluminium akan dipanaskan dalam *crucible* hingga mencapai titik leleh, memungkinkan material untuk berubah dari bentuk padat menjadi cair.
5. *Crucible* yang berisi aluminium kemudian dimasukkan ke dalam tungku yang sudah dipanaskan hingga suhu yang diperlukan untuk melelehkan aluminium. Proses pemanasan hingga suhu 900°C dilakukan menggunakan gas LPG sebagai bahan bakar.



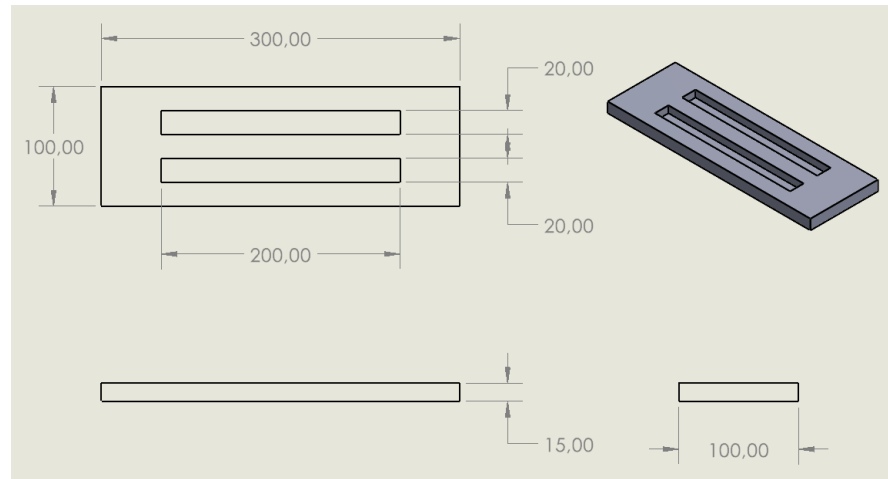
Gambar 3.32 Proses pemanasan

6. Setelah aluminium mencapai kondisi cair, kerak atau lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam cair harus dibuang. Kerak ini merupakan hasil dari reaksi antara aluminium cair dengan oksigen di udara. Kerak yang tidak dibuang dapat mengakibatkan cacat pada produk akhir, sehingga pembersihan kerak dilakukan secara hati-hati menggunakan alat khusus untuk memastikan aluminium cair dalam kondisi bersih.
7. Setelah proses pembuangan kerak selesai, bubuk alumina ditambahkan secara perlahan ke dalam aluminium cair. Penambahan alumina harus dilakukan dengan hati-hati agar partikel alumina terdistribusi merata dalam aluminium cair.
8. Campuran aluminium cair dan alumina diaduk menggunakan mesin bor yang telah dimodifikasi, dengan kecepatan putaran sekitar 1500 RPM selama 3 menit. Proses pengadukan ini bertujuan untuk memastikan partikel alumina tersebar merata di dalam matriks aluminium cair, menciptakan campuran homogen.



Gambar 3.33 Proses pengadukan komposit

9. Sebelum menuangkan campuran komposit ke dalam cetakan, cetakan terlebih dahulu dibersihkan untuk menghilangkan kotoran atau sisa-sisa material yang mungkin masih menempel dari proses sebelumnya. Adapun dimensi cetakan adalah sebagai berikut.



Gambar 3.34 Dimensi Cetakan pada Software *Solidworks*

Setelah dibersihkan, cetakan dipanaskan menggunakan *torch* gas portabel untuk memastikan bahwa tidak ada kelembaban yang tersisa, yang dapat menyebabkan cacat pada komposit ketika logam cair dituangkan.



Gambar 3.35 Proses pembersihan dan pemanasan cetakan

10. Setelah proses pengadukan selesai dan cetakan sudah siap, campuran komposit yang masih dalam keadaan cair dituangkan dengan hati-hati ke dalam cetakan.



Gambar 3.36 Proses penuangan cetakan

11. Setelah komposit mendingin dan mengeras di dalam cetakan, langkah terakhir adalah mengeluarkan komposit tersebut dari cetakan. Proses ini dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan pada komponen yang sudah terbentuk.



Gambar 3.37 Hasil proses *stir casting*

3.3.2 Proses *Thixoforming*

Proses *thixoforming* adalah proses untuk menghasilkan material komposit yang memiliki sifat mekanik yang unggul. Berikut adalah tahapan proses *thixoforming* yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

1. Tahapan pertama dalam proses *thixoforming* adalah mempersiapkan sampel komposit yang telah melewati tahap *stir casting*. Sampel yang meyatu ini dipotong menjadi dua bagian agar tidak menyatu kembali.
2. Setelah dipotong, sampel komposit dimasukkan ke dalam cetakan yang sudah dipersiapkan.
3. Setelah sampel komposit ditempatkan di dalam cetakan, cetakan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *muffle furnace*. *Furnace*

digunakan untuk memanaskan sampel secara merata hingga mencapai suhu yang diperlukan untuk transformasi ke kondisi *semi-solid*.

4. Pada tahap ini, suhu dalam *muffle furnace* diatur pada 620°C, yang merupakan suhu optimal untuk membawa komposit ke kondisi *semi-solid*. Pada suhu ini, material komposit berada dalam fasa antara padat dan cair, yang dikenal sebagai kondisi *semi-solid*. Pemanasan dilakukan selama 40 menit untuk memastikan bahwa seluruh volume material komposit mencapai kondisi *semi-solid* yang diinginkan.



Gambar 3.38 Suhu pada *furnace* (*thixoforming*)

5. Setelah pemanasan di *muffle furnace* selesai, langkah selanjutnya adalah memindahkan cetakan yang berisi komposit ke mesin press. Pemindahan ini harus dilakukan dengan cepat dan hati-hati untuk menjaga suhu *semi-solid* material selama proses pembentukan. Untuk itu, digunakan tang besi dan sarung tangan anti panas untuk menangani cetakan panas, memastikan operator tetap aman dan material komposit tidak kehilangan terlalu banyak panas selama perpindahan.



Gambar 3.39 Proses pemindahan cetakan

6. Selama dan setelah perpindahan ke mesin press, suhu komposit di dalam cetakan dipantau menggunakan *thermogun*. *Thermogun* digunakan untuk memastikan bahwa material komposit tetap dalam rentang suhu *semi-solid* yang diperlukan. Pemantauan suhu ini penting karena jika suhu komposit terlalu rendah, material akan menjadi terlalu kaku untuk dibentuk, sedangkan jika terlalu tinggi, material bisa menjadi terlalu cair dan kehilangan bentuk yang diinginkan.



Gambar 3.40 Pemantauan suhu cetakan

7. Dengan komposit yang berada dalam kondisi *semi-solid* dan suhu yang dipantau dengan baik, proses *pressing* dilakukan menggunakan mesin press dengan kapasitas tekanan sebesar 392 mpa. *Pressing* ini diterapkan untuk membentuk komposit sesuai dengan bentuk cetakan. Dalam kondisi *semi-solid*, material memiliki sifat yang memungkinkan untuk dibentuk tanpa mengalami retakan atau deformasi yang signifikan. Setelah proses *pressing* selesai, tekanan pada cetakan dipertahankan selama sekitar 5 menit.



Gambar 3.41 Proses *pressing*

8. Setelah tekanan dilepaskan, cetakan bersama dengan material komposit yang terbentuk dibiarkan mendingin pada suhu ruangan. Pendinginan ini dilakukan secara alami tanpa pendinginan paksa, untuk menghindari pembentukan tegangan internal atau retakan dalam material komposit.



Gambar 3.42 Hasil proses *thixoforming*

9. Setelah material komposit sepenuhnya, langkah terakhir adalah mengeluarkan sampel dari cetakan dan menganalisa faktor keberhasilan pada proses *thixoforming*. Sampel dikatakan berhasil jika bagian atas sampel meluber dan ketebalan tereduksi.



Gambar 3.43 Hasil sampel *thixoforming*

3.3.3 Proses *Rolling*

Rolling adalah proses deformasi plastik di mana material dilewatkan melalui rol untuk secara bertahap mengurangi ketebalannya hingga mencapai dimensi yang diinginkan. *Rolling* memiliki keuntungan yaitu peningkatan kekuatan material melalui perbaikan struktur butiran, proses pengerolan dilakukan di Badan Riset Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Berikut adalah tahapan proses *rolling* yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

1. Setelah sampel melewati proses *stir casting* dan *thixoforming*, langkah pertama dalam proses *rolling* adalah melakukan preparasi kembali pada permukaan sampel. Preparasi ini dilakukan dengan menggunakan gerinda untuk mengamplas permukaan sampel, sehingga ketebalannya dapat dikurangi hingga kurang dari 11 mm. Langkah ini sangat penting karena mesin *rolling* yang digunakan memiliki kapasitas maksimal untuk sampel dengan ketebalan 11 mm. Dengan memastikan ketebalan sampel berada di bawah batas ini, kita dapat menghindari potensi kerusakan pada mesin *rolling* dan memastikan proses berjalan lancar.



Gambar 3.44 Mesin *Rolling*

2. Setelah preparasi permukaan selesai, langkah berikutnya adalah menentukan ketebalan akhir yang diinginkan untuk sampel. Pada penelitian ini digunakan variabel persen reduksi sebesar 5%, 10%, dan 15%. Variabel ini ditentukan dikarenakan pada proses *trial and error* menggunakan spesimen *dummy* terdapat crack pada persen reduksi 19% sehingga sampel tidak dapat digunakan.
3. Setelah ketebalan yang diinginkan ditentukan, sampel kemudian dimasukkan ke dalam mesin *rolling*. Proses *rolling* ini dilakukan secara bertahap, di mana sampel secara berulang kali dilewatkan melalui rol untuk mengurangi ketebalan secara perlahan.



Gambar 3.45 Proses pengerolan

4. Setelah proses *rolling* selesai dan sampel telah mencapai ketebalan yang diinginkan, langkah terakhir adalah mengukur ketebalan akhir menggunakan jangka sorong. Pengukuran ini dilakukan dengan presisi untuk mengetahui seberapa besar reduksi ketebalan yang telah dicapai selama proses *rolling*.



Gambar 3.46 Pengukuran ketebalan sampel sebelum dan sesudah

3.3.4 Proses *Precipitation Hardening*

Tujuan utama *precipitation hardening* adalah untuk meningkatkan sifat mekanik material, seperti kekerasan, kekuatan, dan ketangguhan, melalui proses pemanasan dan pendinginan yang terkendali. Dengan perlakuan ini, struktur mikro material dapat diubah untuk memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Berikut adalah tahapan proses *precipitation hardening* yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

1. Sampel dimasukkan ke dalam *furnace* dan temperatur diatur hingga mencapai 550°C, yang merupakan suhu optimal untuk proses ini.



Gambar 3.47 Proses *Solutioning*

2. Sampel dipanaskan pada suhu 550°C selama 40 menit untuk memastikan transformasi struktur mikro yang diinginkan.



Gambar 3.48 Suhu pada *furnace* (*Solutioning*)

3. Setelah 40 menit, sampel cepat didinginkan (*quenching*) dalam air es bersuhu 1°C untuk menghentikan proses pemanasan dan mengunci sifat-sifat mekanik yang telah dicapai.



Gambar 3.49 Suhu air untuk proses *quenching*

3.3.5 Proses *Artificial Aging*

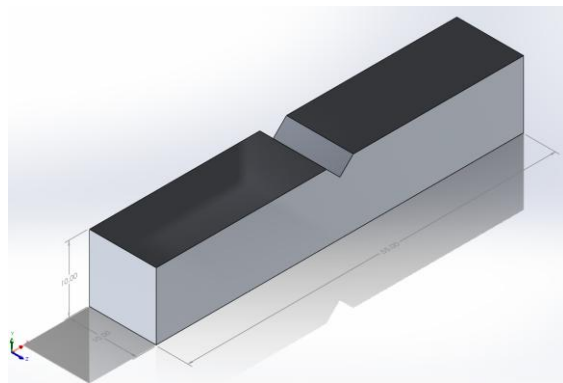
Proses *artificial aging* adalah perlakuan panas yang bertujuan untuk memperkuat material melalui proses penuaan buatan. Berikut adalah tahapan proses *artificial aging* yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

1. Sampel dimasukkan ke dalam *furnace* untuk dipanaskan secara merata. Suhu *furnace* diatur hingga mencapai 190°C.
2. Seluruh sampel dipanaskan pada suhu 190°C selama 2 jam untuk memastikan pengendapan partikel yang stabil, yang memperkuat material.
3. Setelah 2 jam, sampel dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan pada suhu ruangan.

3.3.6 Proses Uji Impak

Uji impact dengan metode Charpy bertujuan untuk mengukur ketangguhan material, yaitu kemampuan material untuk menyerap energi dan menahan beban kejut sebelum mengalami patah. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Berikut adalah tahapan proses uji impact yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

1. Langkah pertama adalah mempersiapkan sampel dengan membentuknya menggunakan mesin frais menjadi spesimen sesuai dengan standar ASTM E23.



Gambar 3.50 Spesimen ASTM E23

2. Spesimen diletakkan pada alat uji impact dengan posisi takik berbentuk *v-groove* menghadap berlawanan arah dengan arah pembebanan.



Gambar 3.51 Peletakan spesimen pada Uji impak

3. Pembebanan diatur pada nilai 300 Joule, yang merupakan jumlah energi yang akan diterapkan pada spesimen.
4. Bandul pada alat uji impak dilepaskan untuk memberikan energi ke spesimen. Setelah bandul melepaskan energi, pengereman dilakukan untuk menghentikan gerakan bandul.
5. Energi yang diserap oleh spesimen, yang merupakan selisih antara energi yang diberikan dan energi yang tersisa setelah impak, dibaca dari indikator alat uji.
6. Setelah membaca energi yang diserap, nilai impak dihitung menggunakan rumus berikut ini :

$$\text{Luas Penampang} = P \text{ (mm)} \times L \text{ (mm)} \dots\dots\dots(3.1)$$

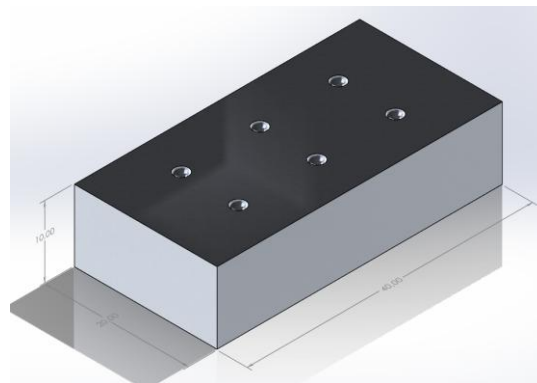
$$\text{Nilai Impak} = \frac{\text{Energi Diserap (Joule)}}{\text{Luas Penampang (mm}^2\text{)}} \dots\dots\dots(3.2)$$

3.3.7 Proses Uji Kekerasan

Uji kekerasan adalah untuk mengukur sejauh mana material dapat menahan deformasi permukaan saat diberi beban. Proses pengujian pada penelitian ini adalah menggunakan metode Rockwell, pengujian ini mengukur kekerasan material dengan menilai kedalaman penetrasi indenter berbentuk bola pada permukaan material dengan beban 100 kgf. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Berikut adalah tahapan proses uji kekerasan yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

1. Langkah pertama adalah menyiapkan sampel uji yang sudah dipotong dengan dimensi 20 mm x 40 mm dan permukaan rata

2. Indentor disesuaikan dengan standar ASTM E18 untuk memastikan bahwa hasil uji sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
3. Sampel ditempatkan pada area pengujian di alat uji kekerasan.
4. Kalibrasi dilakukan dengan memberikan penetrasi pada sampel sampai indikator warna pada tombol start menyala.
5. Setelah kalibrasi, tombol start ditekan. Indentor memberikan penetrasi pada sampel dan proses uji dilakukan. Hasil kekerasan, yang terukur oleh alat, muncul di layar alat uji kekerasan setelah indentor berhenti memberikan penetrasi.

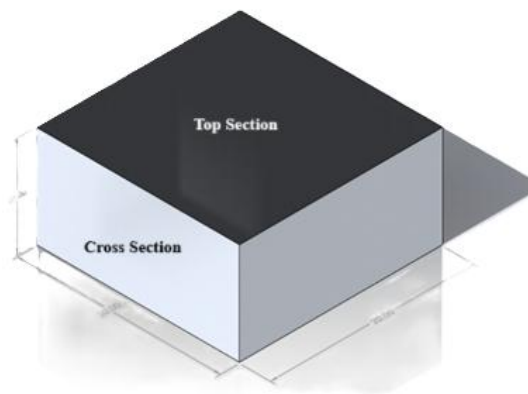


Gambar 3.52 Spesimen Uji Kekerasan

3.3.8 Proses Uji Struktur Mikro

Setelah seluruh proses pembuatan komposit Aluminium Al 6061 dengan penguat Alumina (Al_2O_3) selesai, langkah berikutnya adalah melakukan pengamatan pada *top section* untuk mengevaluasi distribusi penguat dalam matriks Al6061. Pengamatan ini dilakukan menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang tersedia di Laboratorium Terpadu Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Berikut adalah tahapan proses uji struktur mikro yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

1. Permukaan sampel yang akan diamati dipersiapkan dengan mengamplas dan menghaluskan dengan kain bludru menggunakan pasta alumina untuk memastikan permukaan yang rata dan bersih.
2. Sampel yang telah dipersiapkan ditempatkan pada *holder* atau dudukan khusus dari alat SEM.



Gambar 3.53 Spesimen Uji Struktur Mikro

3. *Holder* yang berisi sampel kemudian ditempatkan di ruang uji dalam alat SEM.
4. Ruang uji di dalam SEM dikondisikan menjadi kedap udara dengan menciptakan vakum. Kondisi vakum ini diperlukan untuk menghindari gangguan dari molekul udara yang dapat mempengaruhi kualitas gambar.
5. Setelah vakum tercapai, proses pemindaian dimulai dengan melakukan perbesaran pada area permukaan yang akan diamati.
6. Hasil SEM dan EDX didapatkan dengan format gambar.
7. Gambar yang didapatkan diproses menggunakan *Software ImageJ* untuk mengetahui ukuran butir alumina.
8. Ukuran butir alumina didapatkan dan standar deviasi ukuran butir diukur dengan menggunakan rumus berikut.

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{(N-1)} \right]} \dots\dots\dots(4.1)$$

3.3.9 Proses Pengelolaan Data

Setelah menyelesaikan semua proses pengujian pada keseluruhan sampel, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data dari semua hasil pengujian tersebut. Data ini kemudian dianalisis, dijelaskan, dan dikaitkan dengan data hasil pengujian lainnya. Akhirnya, kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan disusun berdasarkan analisis data tersebut.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdapat variabel terikat, bebas, dan terkontrol. Berikut adalah variabel penelitian yang dilakukan.

1. Variabel Terikat

- a. Hasil uji kekerasan Rockwell pada komposit Aluminium Al 6061 berpenguat Alumina (Al_2O_3)
- b. Nilai impak yang diukur menggunakan metode Charpy untuk menilai ketangguhan komposit.
- c. Persebaran dan interaksi penguat Alumina dalam matriks Aluminium Al 6061 yang dianalisis menggunakan SEM.
- d. Ketebalan akhir komposit Aluminium Al 6061 berpenguat Alumina setelah proses *cold rolling*.

2. Variabel Bebas

- a. Variasi dalam persen reduksi material selama proses *rolling*.
- b. Suhu dan waktu *precipitation hardening*.
- c. Suhu dan waktu *artificial aging*.

3. Variabel Terkontrol

- a. Jenis material yang digunakan Aluminium Al 6061 dan bubuk Alumina (Al_2O_3) digunakan sebagai bahan baku.
- b. Metode uji yang digunakan, Metode pengujian seperti uji kekerasan Rockwell, uji impak Charpy, dan SEM untuk analisis struktur mikro.
- c. Kondisi Lingkungan Suhu ruangan, tekanan udara, dan kondisi laboratorium saat melakukan pengujian.