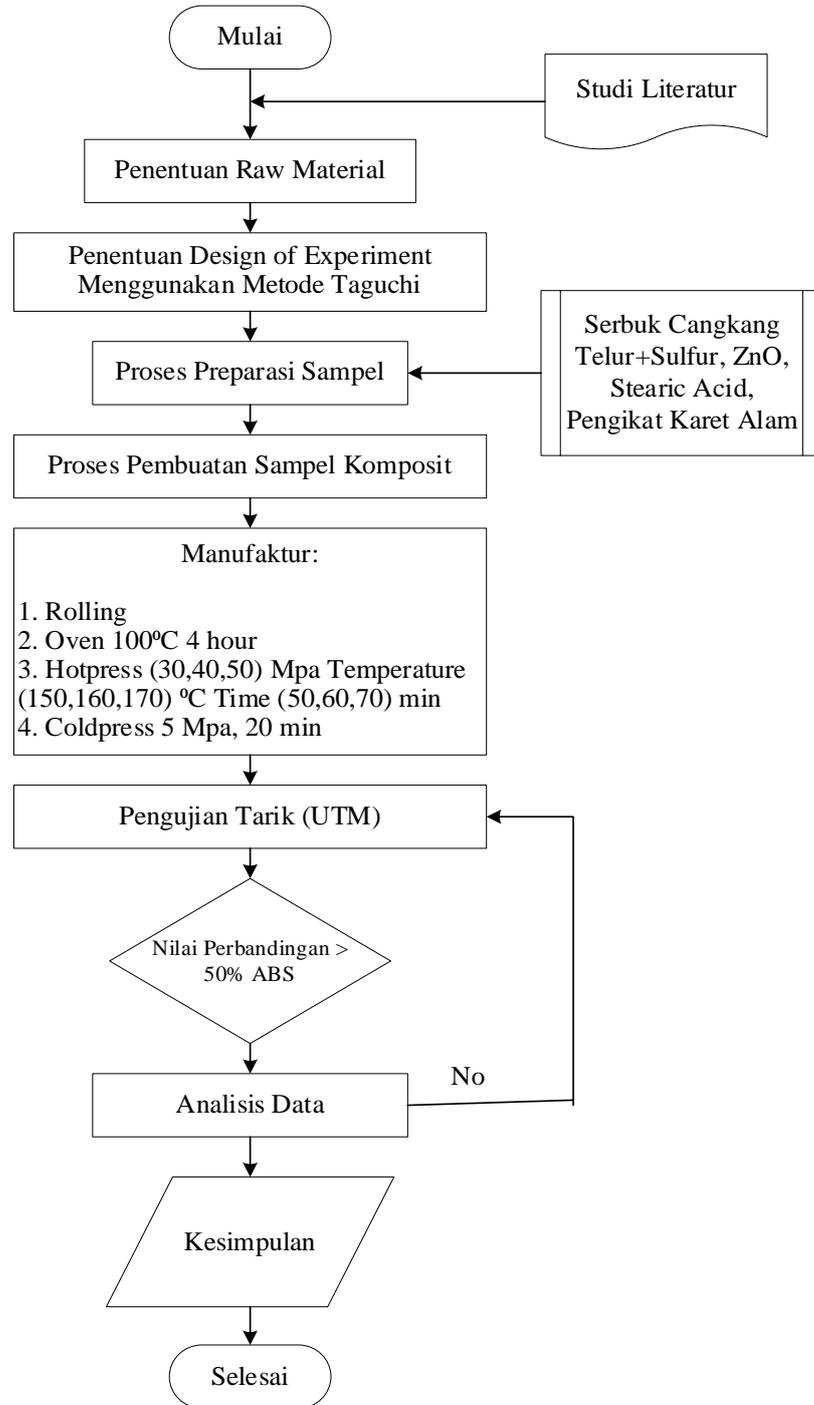


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dimulai dengan tahap awal berupa studi literatur untuk memahami dasar teori dan referensi yang relevan dengan penelitian. Setelah itu, dilakukan penentuan bahan baku (*raw material*) yang akan digunakan dalam penelitian. Langkah selanjutnya adalah menentukan desain eksperimen menggunakan metode Taguchi untuk memastikan rancangan percobaan yang optimal.

Setelah desain eksperimen ditentukan, dilakukan proses persiapan sampel komposit yang melibatkan beberapa bahan utama, yaitu serbuk cangkang telur, ZnO, asam stearat, sulfur, dan pengisi karet alam. Tahapan proses pembuatan sampel komposit melibatkan beberapa langkah utama: pertama, *rolling material*; kedua, proses oven pada suhu 100°C selama 4 jam; ketiga, proses hot press pada tekanan 30,450, atau 500 kg/cm² dengan variasi suhu (150°C, 160°C, 170°C) selama durasi waktu tertentu (5, 6, atau 7 menit); dan terakhir, *cold press* pada suhu 25°C selama 2 menit.

Setelah sampel komposit selesai dibuat, dilakukan pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk menentukan sifat mekanik material. Hasil pengujian akan dievaluasi berdasarkan kriteria nilai perbandingan >50% ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). Jika hasil pengujian tidak memenuhi kriteria, langkah-langkah tertentu mungkin diulang untuk perbaikan.

Tahapan selanjutnya adalah analisis data hasil pengujian untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian. Akhirnya, penelitian diselesaikan dengan pembuatan kesimpulan dari seluruh proses yang telah dilakukan.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam studi ini, terdapat penggunaan alat dan bahan tertentu yang telah disediakan. Berikut adalah daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan selama pelaksanaan penelitian ini meliputi berbagai peralatan yang berperan penting dalam mendukung jalannya proses penelitian, antara lain sebagai berikut.

1. Oven

Oven dipakai untuk mengeringkan sampel agar siap digunakan dalam pengujian konduktivitas termal, dengan mempertahankan suhu pada 100 °C selama 4 jam.



Gambar 3.2 Oven

Dalam penelitian ini, digunakan oven pengering Memmert UN 450 dengan sistem konveksi alami. Oven ini memiliki kapasitas sebesar 449 liter dan mampu mencapai suhu maksimum hingga 300°C. Suhu dalam oven dapat diatur dengan presisi tinggi berkat adanya tampilan digital. Oven ini dilengkapi dengan dua rak berbahan stainless steel untuk menampung sampel. Spesifikasi teknis oven ini adalah sebagai berikut:

- a) Merek dan Model: Memmert UN 450
- b) Kapasitas: 449 liter
- c) Rentang Suhu: Suhu ruang + 5°C hingga 300°C
- d) Daya: 5800 W (tiga fasa)
- e) Dimensi dalam (P x T x T): 1040 x 720 x 600 mm
- f) Dimensi luar (P x T x T): 1224 x 1247 x 784 mm
- g) Nomor Seri: B723.0348

2. Mesin *Hotpress*

Hotpress machine, menjadi instrumen utama dalam pembuatan papan partikel dengan menekan material dalam cetakan sesuai dengan standar tekanan yang ditentukan. Mesin ini dilengkapi dengan

pemanas yang dapat diatur untuk mencapai suhu yang diperlukan. Dalam proses ini, berbagai variasi tekanan (30, 40, 50 MPa), suhu (150, 160, 170°C), dan durasi waktu (50, 60, 70 menit) digunakan. Hot press machine digunakan untuk menjalankan proses vulkanisasi sulfur dengan membentuk papan partikel di bawah tekanan dan suhu yang ditentukan.



Gambar 3.3 Mesin Hotpress

Peralatan ini terdiri dari *Automatic Hot Press* (BMN: 3.08.01.06.004.4) yang dirancang untuk proses pressing material lignoselulosa secara otomatis, dengan pengaturan tekanan dan suhu yang presisi untuk menghasilkan material berkualitas tinggi dalam pembuatan biopolimer. Spesifikasi *Hot Press*:

- a) Ukuran Platen: 200 × 200 mm
- b) Buka-an Platen Maksimum: 90 mm
- c) Diameter Silinder: φ45 mm
- d) Gaya Maksimum: 100 kN (Hidrolik 62.9 MPa)
- e) Rentang Suhu: Maksimum 300 °C (Opsional: Maksimum 400 °C)
- f) Opsional: Pendinginan Platen dengan Air
- g) Sumber Daya: AC 200 V, 1 Fasa, 20 A, 50/60 Hz
- h) Dimensi/ Berat (Kira-kira): P410 × L335 × T760 mm, 130 kg

3. Mesin *Coldpress*

Cold press machine digunakan untuk mendinginkan sampel setelah melewati tahap pengolahan dengan mesin *hot press*. Proses

pendinginan ini bertujuan untuk mengembalikan sampel pada suhu normalnya tanpa menambah temperatur yang dapat menyebabkan ekspansi, sehingga memastikan sampel tetap dalam dimensi yang diinginkan.



Gambar 3.4 Mesin *Coldpress*

Secara umum, mesin press hidrolik memiliki beberapa fungsi utama, antara lain:

- a) Membentuk: Mengubah bentuk material menjadi bentuk yang diinginkan, seperti membengkokkan plat logam atau membentuk komponen plastik.
- b) Memperkuat: Meningkatkan kekuatan suatu material dengan cara memadatkannya.
- c) Memotong: Memotong material dengan cara memberikan tekanan yang sangat besar pada bagian yang akan dipotong.
- d) Menggabungkan: Menggabungkan beberapa bagian menjadi satu kesatuan, seperti pada proses laminasi atau pembuatan komposit.

Mesin press hidrolik terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- a) Silinder hidrolik: Komponen utama yang menghasilkan gaya tekan.
- b) Pompa hidrolik: Memompa fluida hidrolik ke dalam silinder.
- c) Katup kontrol: Mengontrol aliran fluida hidrolik dan tekanan yang dihasilkan.
- d) Unit tenaga: Memberikan tenaga untuk mengoperasikan pompa hidrolik.

- e) Plat tekan: Bagian yang memberikan tekanan langsung pada benda kerja.
- f) Kerangka mesin: Menopang seluruh komponen mesin.

4. Cetakan Papan Partikel

Untuk penelitian ini, telah dibuat sebuah set cetakan khusus untuk pembuatan papan partikel. Cetakan kayu berukuran 10 cm x 5 cm x 2 cm berperan sebagai cetakan awal, memberikan bentuk dasar pada sampel dan membantu memadatkan partikel dalam tahap awal menggunakan cold press. Frame yang dirancang khusus berfungsi sebagai penjepit yang mengatur jarak antara plat logam atas dan bawah, sehingga memungkinkan pengaturan ketebalan papan partikel secara presisi selama proses pengompakan panas. Penggunaan plat logam yang dilapisi kertas teflon dan minyak silikon bertujuan untuk mencegah lengketnya material pada cetakan dan memudahkan pelepasan sampel setelah proses selesai. Desain cetakan ini dibuat khusus untuk memastikan hasil penelitian yang akurat dan relevan.



Gambar 3.5 Cetakan Papan Partikel

5. Mesin UTM

Mesin UTM (*Universal Testing Machine*) adalah alat yang digunakan untuk menguji kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan sifat mekanik lainnya dari berbagai bahan seperti logam, plastik, karet, dan komposit. Mesin ini memanfaatkan mekanisme pemuatan yang dapat menghasilkan gaya secara bertahap pada spesimen uji untuk mengukur responsnya terhadap beban yang diberikan. Dengan

menggunakan sensor dan perangkat pengukuran yang tepat, mesin UTM memberikan data yang akurat mengenai perilaku material saat dikenakan gaya, sehingga penting dalam pengujian kualitas dan keamanan spesimen.



Gambar 3.6 Mesin UTM MTS Landmark 100 kN

Berikut adalah spesifikasi lengkap sistem MTS *Landmark Testing Solutions*:

- a) Floor-Standing Systems: Untuk aplikasi uji kekuatan tinggi dan spesimen besar.
- b) Tabletop Systems: Untuk aplikasi uji gaya rendah, hemat ruang, dan spesimen lebih kecil.
- c) Force Capacity: Rentang 15 kN hingga 500 kN (3.3 kip hingga 110 kip).
- d) Dynamic Stroke: 100 mm hingga 250 mm (4–10 inci).
- e) Dimensi dan Berat (Model 370.10 – 370.50).
- f) Ketinggian Ruang Uji Vertikal: 140 mm hingga 2085 mm (5.5–82.1 inci).
- g) Lebar Ruang Uji: 533 mm hingga 762 mm (21–30 inci).
- h) Berat Sistem: 635 kg hingga 1760 kg (1400–3875 lbs).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan sepanjang pelaksanaan penelitian ini mencakup berbagai material penting yang berfungsi mendukung setiap tahapan proses penelitian, di antaranya sebagai berikut.

1. Serbuk Cangkang Telur Ayam

Serbuk cangkang telur yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran *mesh* 100, yang secara umum mudah didapatkan di pasaran. Ukuran partikel yang seragam ini sangat penting untuk memastikan proses pengadukan dan pencampuran dengan bahan lain berjalan efektif. Dengan menggunakan serbuk cangkang telur dengan spesifikasi ini, diharapkan dapat menghasilkan biokomposit dengan sifat homogenitas yang lebih baik.



Gambar 3.7 *Eggshell Powder*

(Sumber: [24])

2. Sulfur

Peran sulfur dalam meningkatkan konduktivitas termal bahan cangkang telur adalah krusial, bahan ini secara umum mudah didapatkan di pasaran. Dengan mengisi celah antar partikel, sulfur memperbaiki kepadatan bahan secara keseluruhan, sehingga meningkatkan efisiensi konduktivitas termal pada biokomposit. Selain itu, sebagai agen vulkanisir, sulfur memainkan peran penting dalam meningkatkan elastisitas karet melalui proses pemanasan. Melalui pembentukan ikatan silang kimia di antara rantai molekul, karet menjadi lebih kuat dan elastis, memperbaiki kualitas produk akhir secara signifikan.



Gambar 3.8 *Sulfur*

(Sumber: [25])

3. ZnO

Penambahan bahan ZnO pada bahan dasar biokomposit dari cangkang telur bertujuan untuk meningkatkan sifat mekaniknya. ZnO berperan sebagai bahan penguat yang tidak hanya meningkatkan kepadatan partikel dalam komposit, tetapi juga meningkatkan kekuatan dan ketahanannya terhadap deformasi serta retakan. Selain itu, ZnO berfungsi sebagai bahan aktivator yang mempercepat proses vulkanisasi sulfur secara signifikan, mengurangi waktu proses dari beberapa jam menjadi beberapa menit saja. Bahan ini secara umum mudah didapatkan di pasaran.



Gambar 3.9 ZnO

(Sumber: [26])

4. *Stearic Acid*

Bahan ini secara umum mudah didapatkan di pasaran. *Stearic acid* memiliki peran penting sebagai bahan pengikat dan pelumas dalam pembuatan biokomposit. Sebagai asam lemak jenuh dengan rantai karbon panjang, *stearic acid* berfungsi sebagai surfaktan dan *stabilizer*, memfasilitasi pencampuran bahan dan meningkatkan kekuatan adhesi antara bahan cangkang telur dengan tambahan seperti ZnO dan sulfur. Selain itu, *stearic acid* berperan sebagai bahan pelunak, membantu melunakkan karet selama proses rolling dan mengurangi viskositas karet, mempermudah pencampuran dengan bahan lainnya.



Gambar 3.10 *Stearic Acid*

(Sumber: [27])

5. Karet Alam Cair

Penggunaan karet alam dalam penelitian ini bertujuan sebagai pengikat antara bahan cangkang telur dengan tambahan seperti sulfur dan ZnO dalam proses pembuatan biokomposit. Bahan ini secara umum mudah didapatkan di pasaran. Karet alam, dikenal karena sifat adhesinya yang unggul, mampu melekat pada berbagai permukaan bahan lain, sehingga berperan dalam meningkatkan kekuatan mekanik dari biokomposit yang dihasilkan.



Gambar 3.11 *Latex Rubber*

(Sumber: [28])

3.3 Variabel Pengujian

Dalam penelitian ini, terdapat sejumlah variabel yang diuji, yang mencakup berbagai aspek penting untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu sebagai berikut.

1. Variabel KONTROL

Variabel independen dalam penelitian ini mencakup jenis *filler* dengan ukuran 100 *mesh* dan matriks yang dipergunakan.

2. Variabel TERIKAT

Variabel dependen yang diamati meliputi tegangan tarik, regangan, modulus tarik, titik luluh, titik patah, rasio poisson.

3. Variabel BEBAS

- a. Komposisi *filler* sebesar 55%, 60%, dan 65%.
- b. Tekanan *hot press* sebesar 30, 40, dan 50 MPa.
- c. Suhu *hot press* sebesar 150°C, 160°C, dan 170°C.
- d. Waktu *hot press* selama 50, 60, dan 70 menit.

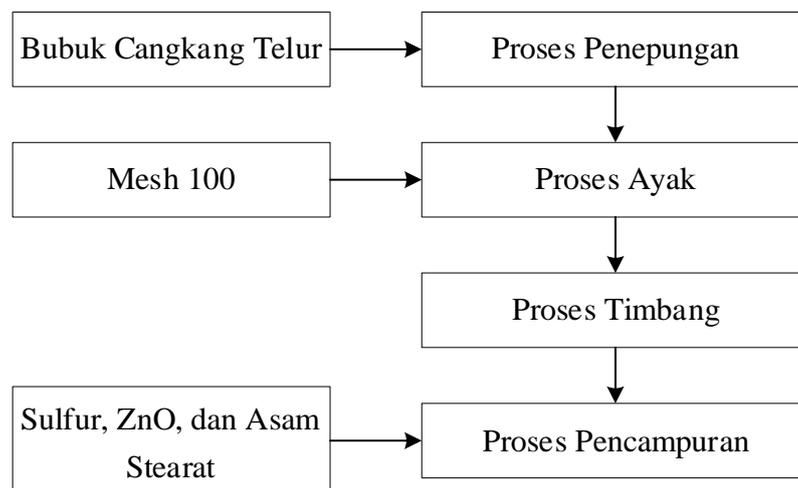
3.4 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, beberapa langkah prosedur harus dijalankan.

Berikut adalah tahapan yang perlu dilakukan.

3.4.1 Preparasi Sampel

Untuk mencapai ukuran yang diinginkan, yaitu 100 mesh, sampel serbuk cangkang telur dipersiapkan melalui proses penepungan dan pengayakan menggunakan saringan 100 mesh. Setelah itu, serbuk cangkang telur dicampur dengan bahan lainnya menggunakan mixer.

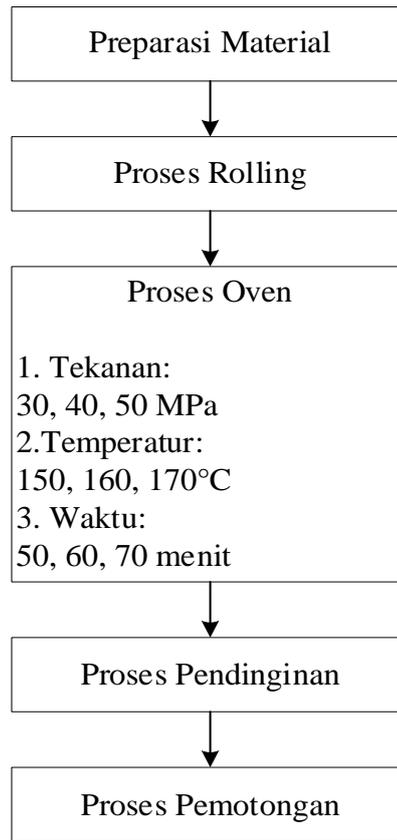


Gambar 3.12 Preparasi Sampel

Gambar 3.12 menggambarkan langkah-langkah persiapan sampel yang melibatkan bahan dasar bubuk cangkang telur. Proses ini dimulai dengan tahap penepungan, di mana cangkang telur yang telah dibersihkan dan dikeringkan dihaluskan menjadi bubuk. Bubuk cangkang telur ini kemudian diayak menggunakan ayakan dengan ukuran mesh 100 untuk memastikan ukuran partikelnya seragam dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Setelah diayak, bubuk cangkang telur yang telah lolos ayakan kemudian ditimbang secara akurat untuk menentukan jumlah yang dibutuhkan dalam proses selanjutnya. Tahap akhir dari persiapan sampel adalah proses pencampuran. Pada tahap ini, bubuk cangkang telur yang telah ditimbang dicampurkan dengan bahan-bahan tambahan seperti sulfur, seng oksida (ZnO), dan asam stearat. Pencampuran dilakukan secara merata untuk memastikan distribusi bahan-bahan tambahan yang homogen di dalam sampel. Campuran homogen inilah yang kemudian akan digunakan sebagai sampel untuk penelitian atau pengujian lebih lanjut.

3.4.2 Pembuatan Sampel

Proses manufaktur papan partikel dimulai dengan merolling sampel pada mesin *roll*, lalu specimen dimasukkan ke dalam oven selama 4 jam pada suhu 100°C. Setelah itu, specimen dimasukkan ke dalam cetakan yang sudah diolesi cairan minyak silikon dan dilapisi kertas teflon. Kemudian, sampel diproses dalam mesin kempa panas (*hotpress*) yang memiliki variasi suhu, tekanan, dan waktu tertentu. Setelah proses *hotpress*, sampel segera dimasukkan dalam coldpress selama 20 menit untuk pendinginan, mencegah pemuaihan. Selanjutnya, papan partikel dipotong menjadi ukuran 50 mm x 20 mm x 3 mm sesuai dengan kebutuhan pengujian. Kemudian sampel dibentuk sesuai dengan standar prosedur menggunakan metode *water jet cutting* menyesuaikan dimensi standar.



Gambar 3.13 Pembuatan Sampel

Proses pembuatan sampel biopolimer yang digambarkan pada diagram alir 3.13 melibatkan beberapa tahapan penting. Dimulai dari persiapan bahan baku biopolimer, yang mungkin berupa ekstrak tumbuhan, limbah pertanian, atau bahkan mikroorganisme. Bahan baku ini kemudian diproses melalui tahap rolling untuk mendapatkan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Proses selanjutnya adalah perlakuan panas dalam oven, di mana biopolimer dipanaskan pada suhu dan tekanan tertentu untuk mengubah struktur molekulnya. Variasi suhu, tekanan, dan waktu pemanasan ini memungkinkan peneliti untuk mengontrol sifat-sifat akhir dari sampel, seperti kekuatan, kelenturan, dan biodegradabilitas. Setelah proses pemanasan, sampel didinginkan dan kemudian dipotong menjadi ukuran yang sesuai untuk pengujian lebih lanjut. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk menghasilkan sampel biopolimer dengan sifat yang konsisten dan dapat diprediksi, sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti pembuatan kemasan biodegradable, bahan medis, atau komponen elektronik.

Dengan memanipulasi parameter proses, para peneliti dapat mengembangkan biopolimer dengan sifat yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik suatu aplikasi.

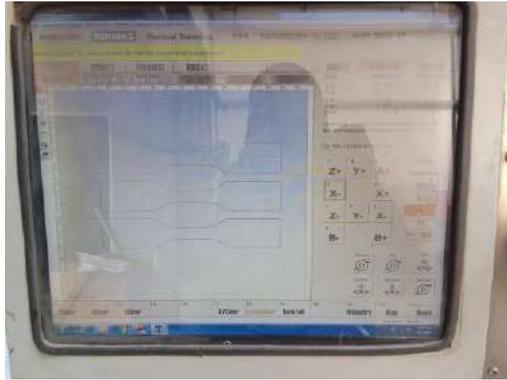
3.4.3 Pemotongan Sampel

Sebelum dilakukan pengujian tarik sesuai dengan standar ASTM D638 Bagian V, seluruh sampel uji telah melalui proses pemotongan yang presisi. Sampel-sampel ini dipotong dengan menggunakan mesin *Water Jet Cutting* untuk memastikan dimensi geometrik sampel sesuai dengan spesifikasi standar. Proses pemotongan dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari terjadinya cacat atau tegangan sisa pada permukaan sampel yang dapat mempengaruhi hasil pengujian.



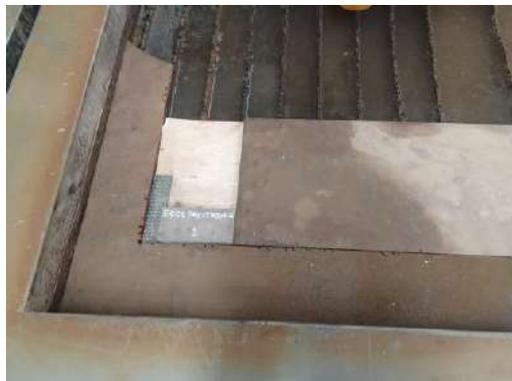
Gambar 3.14 Mempersiapkan Mesin Water Jet Cutting

Gambar 3.14 memperlihatkan tahapan persiapan mesin Water Jet Cutting sebelum memulai proses pemotongan. Pada tahap ini, komponen-komponen utama mesin seperti nosel, tabung pencampur, dan tangki abrasif sedang diperiksa dan disiapkan untuk memastikan kinerja mesin yang optimal. Proses persiapan ini meliputi pemeriksaan tekanan air, pasokan abrasif, dan pengaturan parameter pemotongan lainnya.



Gambar 3.15 Melakukan Input Dimensi Pada Mesin Cutting

Gambar 3.15 memperlihatkan proses krusial dalam pemotongan spesimen menggunakan mesin Water Jet Cutting, yaitu tahap input dimensi. Pada tahap ini, operator memasukkan data dimensi yang diinginkan untuk spesimen yang akan dipotong ke dalam sistem komputer mesin. Data dimensi ini mencakup panjang, lebar, bentuk, serta detail geometri lainnya dari spesimen. Informasi yang akurat pada tahap ini sangat penting untuk memastikan hasil potongan sesuai dengan desain yang telah ditentukan.



Gambar 3.16 Meletakkan Spesimen Pada Pelat Cutting

Gambar 3.16 menunjukkan tahap penting dalam proses pemotongan spesimen dengan *Water Jet Cutting*, yaitu penempatan spesimen pada pelat cutting. Spesimen yang telah dirancang secara digital sebelumnya kemudian ditempatkan secara akurat di atas pelat cutting sesuai dengan pola yang telah ditentukan. Penempatan yang tepat ini sangat krusial untuk memastikan hasil potongan sesuai dengan desain yang diinginkan.



Gambar 3.17 Proses Pemotongan

Gambar 3.17 memperlihatkan momen krusial dalam proses pemotongan spesimen menggunakan mesin *Water Jet Cutting*, yakni saat jet air bertekanan tinggi yang bercampur dengan abrasives mulai melakukan kontak dengan material. Pada tahap ini, jet air akan secara bertahap mengikis material, mengikuti pola yang telah diprogram sebelumnya, sehingga menghasilkan potongan yang presisi sesuai dengan desain.



Gambar 3.18 Spesimen Potong ASTM D638 Section V

Gambar 3.18 memperlihatkan tiga buah spesimen uji tarik yang telah dipotong sesuai dengan standar ASTM D638 Bagian V. Spesimen-spesimen ini memiliki bentuk dan dimensi yang spesifik, dengan bagian tengah yang lebih sempit untuk menginduksi tegangan dan deformasi saat dilakukan pengujian tarik. Permukaan spesimen terlihat telah disiapkan dengan baik untuk memastikan hasil pengujian yang akurat.

3.4.4 Pengujian Sampel

Uji Tarik (*Tensile Test*) adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan (*tensile strength*) suatu material/bahan dengan cara memberikan beban (gaya statis) yang sesumbu dan diberikan secara lambat atau cepat. Diperoleh hasil sifat mekanik dari pengujian ini berupa kekuatan dan elastisitas dari material/bahan. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva hasil uji tarik.

3.4.5 Prosedur Uji Tarik

Proses pengujian material dimulai dengan memastikan semua peralatan terkalibrasi dengan benar, termasuk mesin pengujian tarik, sensor beban, dan perangkat lunak pengujian. Spesimen ditempatkan di antara kedua pegangan pengujian dengan posisi yang lurus dan simetris. Parameter pengujian seperti kecepatan pemuatan, tingkat beban, dan jumlah siklus diatur sesuai dengan standar atau persyaratan relevan. Pengujian dimulai dengan pemuatan perlahan hingga sampel mengalami deformasi, dilanjutkan hingga sampel patah atau mencapai batas pengujian. Data relevan seperti kekuatan maksimum, deformasi maksimum, dan kurva regangan-kekuatan direkam selama pengujian oleh perangkat lunak terhubung dengan mesin tarik.

Setelah pengujian selesai, data dianalisis untuk mengevaluasi kinerja material, termasuk perhitungan kekuatan ultimate, modulus elastisitas, dan parameter lain sesuai kebutuhan. Hasil pengujian dilaporkan secara rinci, mencakup prosedur pengujian, data yang diperoleh, dan hasil analisis. Keselamatan selama proses pengujian sangat diutamakan, dengan penggunaan peralatan pelindung diri dan pemahaman terhadap bahaya yang terkait. Terakhir, sampel disimpan dengan baik untuk referensi dan pengujian lanjutan jika diperlukan.

spesimen, yang memiliki penampang yang lebih kecil, biasanya merupakan area pertama yang mengalami deformasi plastis dan akhirnya patah. Perubahan bentuk dan akhirnya kegagalan material akan diamati dan dicatat untuk menganalisis sifat mekanik material tersebut.



Gambar 3.21 Spesimen Uji Setelah Dilakukan Uji Tarik

Pada Gambar 3.21, kita dapat mengamati bahwa spesimen uji telah mengalami deformasi plastis yang signifikan sebelum akhirnya mengalami patah. Retakan yang terbentuk umumnya dimulai dari bagian tengah spesimen yang memiliki penampang yang lebih kecil, yang merupakan area dengan konsentrasi tegangan tertinggi. Bentuk dan ukuran retakan dapat memberikan petunjuk mengenai distribusi tegangan di dalam material selama proses pengujian.

3.5 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode bulan Agustus 2023 sampai dengan Agustus tahun 2024 di Laboratorium Kimia Dasar, Laboratorium Terpadu, dan Laboratorium Material, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Provinsi Banten, serta Laboratorium Pusat Riset Biomassa dan Bioproduct Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Kabupaten Bogor.