

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tekstil didefinisikan sebagai bahan yang berasal dari serat kemudian diolah menjadi benang melalui proses pemintalan *staple* (serat pendek) atau filamen (serat berkesinambungan). Selanjutnya, benang tersebut dijadikan kain melalui proses *weaving* (ditenun), *knitting* (dirajut), atau *felting* (dipres) sehingga membentuk material tekstil yang dapat digunakan (fauzi dkk., 2019). Wilson (2021) mengatakan bahwa tekstil terdiri dari lima komponen utama: 1) serat, sebagai komponen dasar, bahan yang biasa diambil dari berbagai sumber, terutama nabati dan hewani; 2) benang, sebagai struktur yang dibuat dengan memintal atau memuntir serat-serat menjadi satu kesatuan; 3) konstruksi kain, dihasilkan melalui proses pertenunan atau lainnya; 4) penyempurnaan, termasuk proses-proses seperti pemutihan dan pengepresan; dan 5) warna, dimana serat, benang, atau kain dapat diwarnai dengan cara dicelup atau dicetak. Secara khusus Xue dkk. (2019) menyatakan bahwa serat merupakan bagian yang paling penting dalam suatu material tekstil. Xue dkk. (2019) juga menyatakan bahwa serat dapat diklasifikasikan berdasarkan cara mendapatkannya, yaitu serat alam dan serat buatan (*artificial fiber*).

Di dalam industri tekstil, serat buatan dapat diproduksi dengan beberapa metode, seperti pemintalan basah, pemintalan kering, pemintalan leleh, dan *electrospinning*. Kenry dan Lim (2017) mengungkapkan bahwa metode lain dalam pembuatan serat sintetis telah banyak diteliti oleh para akademisi, khususnya serat nano. Serat nano (*nanofiber*) termasuk diantara material nano yang memiliki sifat dan karakteristik fisik maupun kimia yang luar biasa selain *nanorods*, *nanotubes*, *one dimensional nanowires*, *two dimensional nanosheets*, dan *zero dimensional nanoparticles* atau bisa disebut *quantum dots*. Serat nano memiliki ukuran berkisar antara 100-500 nm. Beberapa peneliti menguji serat nano melalui pengujian FTIR untuk memvalidasi senyawa penyusun serat nano yang dihasilkan (Gumilang, 2022), (Istiqomah dan Kusumawati, 2022), (Pangoloan, 2011). Dengan keunggulan sifat-sifatnya, seperti luas permukaan yang tinggi, struktur berpori, dan modulus elastisitas yang tinggi, serat nano telah terbukti dapat diterapkan secara efektif dalam berbagai bidang, termasuk bidang medis, filtrasi, pembuatan kain pelindung, dan bidang lainnya. Beberapa peneliti

melakukan beberapa metode dalam fabrikasi serat nano, seperti *template polymerization*, *drawing*, penyusunan sendiri (*self-assembly*), *electrospinning*, dan pemisahan fasa (*phase separation*) (Ma dan Zhang 1999, (Widmer dkk., 1998), (Li dan Xia., 2004, (Reneker dan Chun., 1996), (Doshi dan Reneker., 1995), (Liang dkk., 2007), (Lu dkk., 2005), (Williamson dan Coombes 2004), (Naik dkk., 2003), (Badami dkk., 2006, (Bhattarai dkk., 2005), (Kweon dkk., 2003), (Yang dkk., 2005), (Zhang dkk., 2005), (Choi dkk., 2004), (Subbiah dkk., 2005) (Lim dkk., 2014), (Nayak dkk., 2012), (Eatemadi dkk., 2016), (Anusiya dan Jaiganesh, 2022), (Guo dkk., 2022), (Zhong dkk., 2011), (Tan dan Rodrigue, 2019), (Zahmatkeshan dkk., 2019). Menurut Guo dkk. (2022) mengungkapkan bahwa metode *electrospinning* merupakan metode yang paling serbaguna, sederhana, dan efektif.

Zhu dan Nie (2021) menyatakan bahwa *electrospinning* menjadi fokus para ilmuwan dalam penelitian beberapa tahun terakhir untuk dapat menciptakan serat nano dengan metode paling optimal karena perangkatnya yang sederhana, kemudahan pengendaliannya, biaya yang terjangkau, dan kemudahan dalam menghasilkan berbagai material nano dengan jumlah besar. *Electrospinning* adalah teknik tradisional yang digerakkan secara elektrostatik yang banyak digunakan untuk memproduksi serat nano karena efisiensinya, kemudahan adaptasi, biaya produksi yang rendah, dan kesederhanaannya (Nune dkk., 2017). Proses *electrospinning* yang sederhana memiliki beberapa parameter yang harus diperhatikan agar proses pemintalan dapat menghasilkan serat nano sesuai dengan yang diharapkan, Nune dkk., (2017) menyatakan bahwa diantara parameter tersebut adalah parameter lingkungan, parameter proses, dan parameter larutan (Mit-Uppatham dkk., 2004) (Chowdhury dan Stylios, 2010) (Su dkk., 2011) (Zargham dkk., 2012). Alghoraibi dan Alomari (2018) menyatakan bahwa *electrospinning* merupakan perpanjangan langsung dari teknik *electrospraying*, yang juga dikenal sebagai *electrohydrodynamic (EHD) spray*. Teknik ini pertama kali dipatenkan pada tahun 1902 oleh Morton dan Cooley, yang keduanya menemukan metode untuk mendispersikan cairan menggunakan gaya elektrostatik. Perkembangan *electrospinning* dimulai sejak Rayleigh (1882) yang menyelidiki stabilitas fluida dalam medan listrik (Lian dkk., 2024). Menurut Li dan Xia (2004); telah diketahui secara umum bahwa sejarah *electrospinning* dimulai dengan kontribusi yang signifikan dari Anton Formhals pada tahun 1934. Kelemahan dari penelitian Anton Formhals adalah mesin *electrospinning* yang

dipatenkan belum terintegrasi dengan mikrokontroler, telepon pintar, dan IoT (*Internet of Thing*), sehingga mesin *electrospinning* yang dipatenkan kurang efisien dalam pengoperasiannya. Landasan teoritis dari *electrospinning* berasal dari model matematis yang menggambarkan bentuk kerucut Taylor (Geoffrey Ingram Taylor) pada tahun 1964-1969 yang terbentuk oleh fluida tetesan di bawah pengaruh medan listrik (Tucker dkk., 2012). Nama *electrospinning* mulai populer pada awal tahun 1990 karena beberapa ilmuwan mendemonstrasikan serat nano yang dipintal secara elektro, terutama Reneker. Tucker (2012) juga menyatakan bahwa semenjak tahun 1995 topik mengenai *electrospinning* telah banyak menarik antusiasme akademisi, seperti Mubarak dan Putra (2020), Anton Formhals (1934), Reneker dan Chun (1996), dan (Marno dkk., 2018).

Secara umum, sistem *electrospinning* terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sumber tegangan tinggi DC, pompa suntik (*syringe pump*), dan plat pengumpul (*collector plate*) atau drum pengumpul (*collector drum*) (Mubarak dan Putra, 2020). Pada penelitian Mubarak dan Putra (2020) telah dilakukan perancangan dan pembuatan mesin *electrospinning* dengan menggunakan prinsip pembebanan yang memanfaatkan gaya tarik gravitasi bumi. Kelemahan pada penelitian ini adalah tidak adanya konektifitas yang terjalin antara mesin *electrospinning* yang dibuat dengan perangkat lain, sehingga pengambilan data dan pengoperasiannya masih harus dilakukan secara manual. Reneker (1996) merupakan salah satu ilmuwan yang berkontribusi banyak dalam mempopulerkan nama *electrospinning*. Namun proses pemintalan yang dilakukan memerlukan banyak alat bantu untuk menjaga stabilitas tegangan listrik yang digunakan (Reneker dan Chun, 1996).

Beberapa peneliti telah melakukan inovasi pada mesin *electrospinning* dalam beberapa tahun terakhir namun hanya difokuskan pada pengembangan *nozzle* dan pengumpulan substrat. Contohnya adalah inovasi *nozzle* koaksial, triaksial, *multinozzle*, dan *nozzle* berdampingan telah berhasil diperkenalkan untuk fabrikasi serat *Core/shell*, *multichannel*, *janus*, *beaded*, *bead on string*, *necklacelike*, *colloidal*, *bamboolike*, dan serat *ribbon*. Teknik *electrospinning* tanpa jarum melalui cakram berputar dan pembentukan gelembung juga telah diperkenalkan untuk memproduksi serat nano. Inovasi atau pengembangan selain modifikasi pada *nozzle*, juga terjadi pada substrat pengumpul, seperti penggunaan berbagai jenis pengumpul berputar seperti drum dan disk berputar,

penggunaan bak air, serta penggunaan substrat cair dinamis untuk mengumpulkan benang serat nano. Modifikasi ini telah mendapatkan perhatian yang mendalam dan tinjauan yang luas di berbagai tempat (Davoodi dkk., 2021). Marno dkk. (2018) telah merancang dan mengembangkan mesin *electrospinning* dengan memodifikasi *syringe pump* sehingga dapat bergerak ke kanan dan kiri. Memanfaatkan mikrokontroler Arduino uno R3 untuk memprogram tampilan nilai tegangan listrik pada LCD (*Liquid Crystal Diode*) sehingga memungkinkan kegiatan pemantauan secara langsung untuk nilai tegangan listrik yang digunakan selama proses berlangsung. Kelemahan pada penelitian ini adalah pengoperasian mesin *electrospinning* dilakukan secara manual tanpa adanya otomasi serta belum mengaplikasikan konektivitas antara mesin *electrospinning* dengan ponsel pintar, sehingga data yang didapat selama proses berjalan tidak dapat tersimpan dan diolah secara langsung melalui *cloud*.

Perkembangan teknologi ponsel terus berlanjut, dengan kemunculan ponsel pintar berbasis Android yang telah menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan sehari-hari. Android merupakan sistem operasi yang bersifat terbuka (*open source*), memungkinkan penggunaannya diperluas hingga ke batas maksimal. Dikarenakan telepon pintar memiliki sifat *open source*, para pengembang dapat menciptakan berbagai aplikasi menarik seperti *game*, aplikasi pesan, dan bahkan aplikasi untuk komunikasi jarak jauh menggunakan Arduino. Arduino merupakan sebuah platform teknologi perangkat keras dan perangkat lunak yang umumnya digunakan dalam pembuatan prototipe rangkaian elektronika berbasis mikrokontroler (Asmaleni dkk., 2020).

Adanya teknologi modern sangat mendukung perkembangan sains, seperti pembacaan parameter dalam proses pemintalan mesin *electrospinning* yang dapat dilakukan dengan mengaplikasikan beberapa teknologi. Pada pengukuran suhu dan kelembapan dapat digunakan sensor DHT 11 yang berfungsi sebagai sensor digital yang telah dikalibrasi untuk memberikan informasi tentang suhu dan kelembapan udara (Setiya Budi dan Pramudya, 2017) (Tresna Utama dkk., 2021). Sedangkan untuk mengukur jarak antara elektroda negatif dan elektroda positif dapat digunakan sensor HC-SR04 yang dapat mengubah sinyal fisik, berupa gelombang suara ultrasonik, menjadi sinyal listrik (Tresna Utama dkk., 2021),(Elga Aris Prasetyo, 2022). Mesin *electrospinning* memiliki komponen utama yang salah satunya berupa *syringe pump*, pada *syringe pump* dapat

diaplikasikan motor *stepper* dan modul DM556, kombinasi kedua perangkat ini dapat menghasilkan gerakan dorongan yang lebih halus dan presisi (monolithicpower, 2024), (Omega, 2024)(Leadshine, 2024). Pengoperasian mesin *electrospinning* dapat dilakukan melalui jarak jauh (tanpa melakukan kontak langsung) dengan mengaplikasikan teknologi serial komunikasi, pada hal ini dapat diterapkan modul *bluetooth* HC-05 untuk mengirim sinyal atau nilai dari Arduino ke sistem lain yang memiliki *bluetooth* serta menerima data dari sistem tersebut (Abdullah, 2021). Perangkat *bluetooth* tersebut yang akan berfungsi menjadi perantara antara mikrokontroler dan *smartphone* yang telah terpasang di dalamnya aplikasi khusus yang dibuat melalui MIT App *Inventor*, sehingga kontrol atas *syringe pump* dan kesemua sensor dapat dilakukan melalui *smartphone* dan data parameter dapat disimpan di Google Spreadsheet menggunakan IoT. Mesin *electrospinning* juga dapat dilengkapi dengan sensor sentuh KY-036, berdasarkan informasi yang diperoleh dari (ArduinoModules, 2024) sensor KY-036 modul sensor sentuh logam analog/digital yang menggunakan transistor untuk mendeteksi perubahan dalam konduktivitas listrik, sehingga sensor ini dapat dijadikan opsi kontrol apabila terjadi kegagalan koneksi pada modul *bluetooth*.

Berdasarkan uraian tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan perancangan dan pembuatan mesin *electrospinning* yang dapat dikendalikan dengan mudah melalui jarak jauh, serta data yang didapat akan termonitor secara *real-time* melalui telepon pintar. Konektifitas antara mesin *electrospinning* dan telepon pintar akan memanfaatkan jaringan *bluetooth* yang berpusat pada mikrokontroler. Pengendalian mesin dan pemantauan data pada telepon pintar akan dilakukan melalui satu aplikasi yang dirancang khusus. Kebaruan dari penelitian ini adalah dihasilkannya suatu mesin *electrospinning* menggunakan sistem kontrol otomatis. Manfaat dari penelitian ini adalah para peneliti dan akademisi dapat menggunakan mesin ini dengan lebih praktis dan dapat melakukan analisa data dengan lebih detail.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Bagaimanakah perencanaan dan pembuatan mesin *electrospinning* dengan sistem kendali otomatis dapat digunakan?
2. Bagaimana pembuatan serat nano pada mesin *electrospinning* dapat dilakukan dengan cara otomatis?

3. Bagaimanakah cara menghubungkan mikrokontroler pada mesin *electrospinning* dengan aplikasi telepon pintar?

1.3 Maksud dan Tujuan

1.3.1 Maksud

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan perancangan dan pembuatan mesin *electrospinning* dengan sistem kontrol otomatis yang terintegrasi dengan sistem Android dan IoT. Melakukan pengujian efektivitas mesin *electrospinning* dalam memproduksi serat nano. Mengetahui pengaruh besar tegangan terhadap diameter serat nano.

1.3.2 Tujuan

1. Menjelaskan perencanaan dan pembuatan mesin *electrospinning* dengan sistem kendali otomatis.
2. Menjelaskan bahwa mesin *electrospinning* dapat memproduksi serat nano dengan lebih efektif dan efisien.
3. Menghubungkan mikrokontroler pada mesin *electrospinning* dengan aplikasi telepon pintar.

1.4 Kerangka Pemikiran

Electrospinning tetap menjadi salah satu teknologi yang paling serbaguna, sederhana, dan efektif hingga saat ini (Guo dkk., 2022). Menurut Zue dan Nie (2021), teknologi *electrospinning* dikenal dengan perangkatnya yang sederhana, kemudahan pengendaliannya, dan biaya yang terjangkau, sehingga memungkinkan peningkatan produksi berbagai material nano dalam jumlah besar (Zhu dan Nie, 2021). *Electrospinning* adalah teknologi serbaguna yang digunakan untuk membuat serat nano dan serat berskala mikro, dengan implikasi yang cukup besar dalam bidang biofarmasi. Dengan menggunakan tegangan tinggi untuk menginduksi muatan listrik pada cairan polimer, proses *electrospinning* menghasilkan serat nano yang memiliki potensi aplikasi yang luas dalam pemanfaatannya (Rayleigh, 1882) (Lian dkk., 2024).

Pada dasarnya, mekanisme pembuatan serat melalui metode *electrospinning* dilakukan dengan cara mendorong larutan polimer yang diberi tegangan listrik tinggi menggunakan pompa injeksi hingga membentuk butiran atau tetesan larutan pada ujung kapiler spinneret. Tetesan polimer yang telah terinduksi akan

bergerak di bawah pengaruh medan listrik ke arah elektroda bermuatan negatif disertai dengan penguapan pelarut polimer, hingga tersisa polimer saja yang terkumpul pada pelat pengumpul (Wahyudi dan Sugiyana, 2011). Menurut Alghoraibi dan Alomari (2018) pengaturan *electrospinning* terdiri dari tiga komponen utama: catu daya tegangan tinggi untuk memberikan muatan pada larutan polimer, jarum suntik (*syringe pump*) dengan pompa yang digunakan untuk menembakkan larutan polimer, dan pengumpul di mana serat nano disimpan.

Pada mesin *electrospinning* dengan konfigurasi horizontal *syringe pump* dan elektroda negatif (*collector plate*) berdiri sejajar secara melintang. Pada susunan seperti ini tidak menerapkan prinsip pembebanan, maka kecepatan tetesan polimer yang akan mengenai *collector plate* tidak akan didukung oleh gaya gravitasi. Guna meningkatkan kepraktisan dan kemudahan dalam pengoperasian mesin *electrospinning* yang akan dibuat, maka sistem kontrol otomatis akan diterapkan.

Jarak antara *collector plate* dengan *syringe pump* pada mesin *electrospinning* akan dapat dimonitori oleh mikrokontroler Arduino Uno yang terhubung dengan sensor Ultrasonik HC-SR04. Begitu juga dengan parameter kelembapan dan suhu udara yang akan dimonitori oleh mikrokontroler yang terhubung dengan sensor *temperature and humidity* HC-05. Pengoperasian jarak dekat akan dipermudah dengan sensor sentuh untuk mengirimkan data semua sensor kepada ponsel pintar dan dikirimkan ke *cloud* dengan menggunakan sensor sentuh KY-036. Selain itu, pengoperasian mesin akan dipermudah dengan perintah jarak jauh menggunakan ponsel pintar kepada motor *stepper* untuk menggerakkan pompa *syringe pump*. Konektivitas mesin akan diperkaya dengan adanya koneksi pada semua sensor dan motor *stepper* yang digunakan kepada ponsel pintar dengan menggunakan serial komunikasi *bluetooth* dan integrasi dengan sistem IoT. Dilihat dari prinsip kerjanya, pembuatan mesin *electrospinning* memungkinkan untuk dibuat dengan berbagai komponen dan material yang mudah ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Tahap awal yang dilakukan dalam perancangan mesin *electrospinning* adalah membuat desain rancangan dengan menyesuaikan spesifikasi yang akan dibuat. Perancangan mesin dibuat sederhana dan dapat dioperasikan dengan mudah. Setelah dilakukan perancangan, tahapan selanjutnya adalah mempersiapkan material

dan bahan yang akan digunakan sebagai komponen pada mesin *electrospinning*. Tahapan selanjutnya adalah mempersiapkan perlengkapan sarana yang akan digunakan untuk melaksanakan pembuatan mesin *electrospinning*. Tahapan terakhir yaitu melakukan pengujian terhadap mesin *electrospinning* yang dirancang agar dapat diketahui tingkat kehandalan mesin *electrospinning* dalam memproduksi serat nano.

1.5 Metodologi Penelitian

1.5.1 Ruang Lingkup

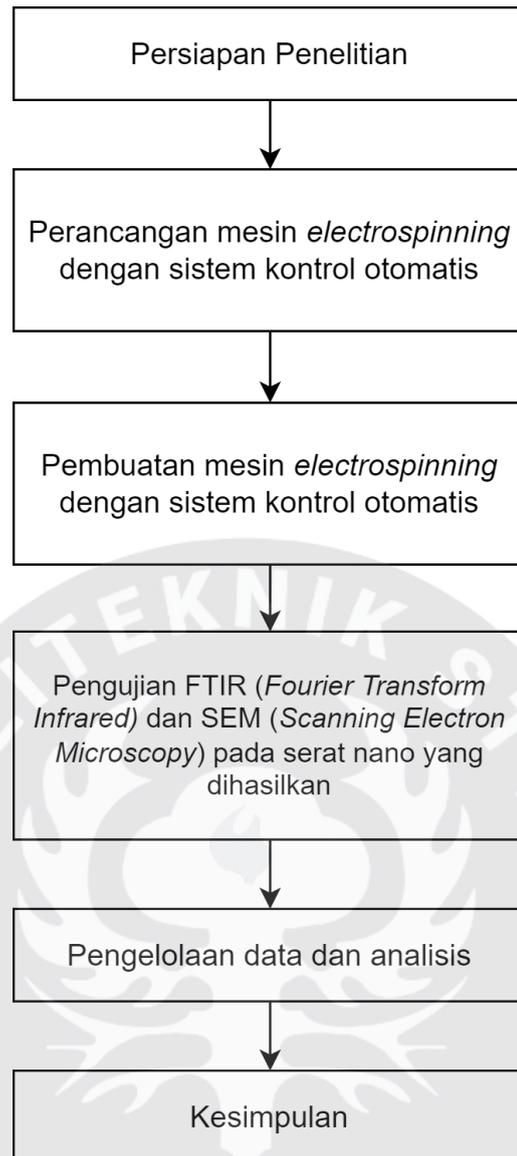
Penelitian rancang bangun mesin *electrospinning* dengan sistem kontrol otomatis dilakukan di Laboratorium fisika Politeknik STTT Bandung. Tahap pengujian dilakukan dengan metode SEM dilakukan di Laboratorium FMIPA Institut Teknologi Bandung. Tahap pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dilakukan di Laboratorium Sintesa Polimer, Politeknik STTT Bandung.

1.5.2 Studi Literatur

Kajian literatur dilakukan untuk mendapatkan informasi yang berasal dari berbagai sumber literatur ilmiah, hal ini bertujuan untuk memperoleh teori yang berkaitan dengan fokus penelitian. Dalam menunjang penelitian ini, sumber-sumber informasi dieksplorasi meliputi jurnal penelitian, literatur buku, artikel laporan penelitian dan situs di internet yang mengulas topik yang relevan. Proses ini dilakukan untuk memastikan bahwa landasan teori yang digunakan pada penelitian mencakup keberagaman sudut pandangan yang luas dari berbagai sumber terpercaya.

1.5.3 Tahapan Penelitian

Guna mempermudah jalannya penelitian serta penyusunan laporan maka metode penelitian disusun menjadi beberapa tahapan seperti pada Gambar di halaman 9.



Gambar 1.1 Alur Metode Penelitian

Keterangan:

1. Persiapan Penelitian:
Penentuan mesin dan prinsip percobaan yang akan dilakukan pada proses penelitian.
2. Perancangan mesin *electrospinning* dengan sistem kontrol otomatis:
Pembuatan perencanaan dan rancangan desain mesin *electrospinning* dengan sistem kontrol otomatis.
3. Pembuatan mesin *electrospinning* dengan sistem kontrol otomatis:
Pembuatan mesin *electrospinning* dengan sistem kontrol otomatis sesuai dengan perencanaan dan desain yang telah ditentukan sebelumnya.

4. Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada serat nano yang dihasilkan:

Melakukan pengujian terhadap serat nano yang dihasilkan oleh mesin *electrospinning* menggunakan metode uji FTIR untuk mengidentifikasi sifat material berdasarkan gugus fungsi senyawa penyusunnya dan pengujian SEM untuk mengkaji struktur morfologi permukaan serat.

5. Pengolahan data dan analisa:

Pengolahan data serta analisis terhadap hasil mesin *electrospinning* dengan sistem kontrol otomatis yang telah dibuat.

6. Kesimpulan Penelitian:

Pengambilan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan data pengamatan yang telah dilakukan.

1.5.4 Batasan Masalah

Penelitian ini berfokus pada rancang bangun mesin *electrospinning* dengan sistem kontrol otomatis, untuk mempersempit ruang lingkup penelitian dan menghasilkan kesimpulan yang terarah serta relevan ditetapkan beberapa batasan masalah diantaranya sebagai berikut:

1. Mesin yang akan dibuat menggunakan konfigurasi horizontal
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler Arduino uno.
3. Sensor yang digunakan adalah sensor kelembaban, suhu, jarak, serta sensor sentuh.
4. Telepon pintar yang digunakan adalah berbasis Android.
5. Motor stepper yang digunakan adalah 3200/ step.
6. Rangkaian tegangan tinggi DC mengikuti penelitian Mubarak dan Putra, (2020)
7. Model diameter serat nano menggunakan model Putra dan Mohamad, (2023)
8. Larutan polimer PVA yang digunakan sebagai bahan uji kehandalan mesin didapatkan dari Laboratorium Fisika Dasar Politeknik STTT Bandung dengan konsentrasi PVA 10%.
9. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium FMIPA Institut Teknologi Bandung.
10. Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Sintesa Polimer, Politeknik STTT Bandung.