

**ANALISIS UKURAN PARTIKEL PADA PROSES MESIN
PENCACAH POLIMER KOMPOSIT SKALA
LABORATORIUM**

SKRIPSI

OLEH:

**JONATHAN PURBA
188130012**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 19/12/24

Access From (repository.uma.ac.id)19/12/24

HALAMAN JUDUL

ANALISIS UKURAN PARTIKEL PADA PROSES MESIN PENCACAH POLIMER KOMPOSIT SKALA LABORATORIUM

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

JONATHAN PURBA
188130012

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

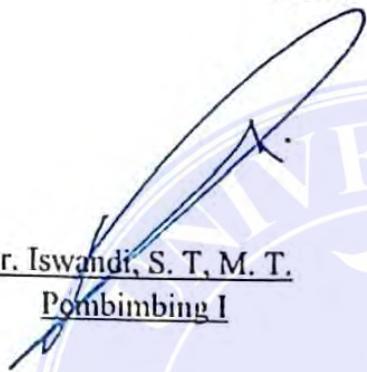
Document Accepted 19/12/24

Access From (repository.uma.ac.id)19/12/24

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Analisis Ukuran Partikel Pada Proses Mesin Pencacah
Polimer Komposit Skala Laboratorium
Nama Mahasiswa : Jonathan Purba
NIM : 18.813.0012
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Dr. Iswandi, S. T, M. T.
Pembimbing I


Bobby Umroh, S. T, M. T.
Pembimbing II


Dr. Enel Supriatno, S.T, M. T.
Dekan
FAKULTAS TEKNIK


Dr. Iswandi, S.T, M. T.
PRODI. TEKNIK MEKANIKA

Tanggal Lulus: 7 Agustus 2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 10 Oktober 2024



Jonathan Purba

188130012

Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah

HALAMAN PERYANTAAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Jonathan Purba
NPM : 188130012
Progam Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: Analisis Ukuran Partikel Pada Mesin Pencacah Polimer Komposit Skala Laboratorium.

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmediakan/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataann ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 10 Oktober 2024

Yang menyatakan



(Jonathan Purba)

ABSTRAK

Nilai bahan mempengaruhi saat proses penyaringan menggunakan variasi mesh/saringan dengan ukuran mesh yang berbeda untuk menghasilkan nilai analisis yang diinginkan. Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian kali ini akan menggunakan saringan/mesh pada mesin pencacah agar mengetahui ukuran nilai partikel yang diinginkan dengan menggunakan analisis metode Taguchi Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil pada proses pencacah agar mendapatkan nilai ukuran partikel dengan variasi bahan komposit yaitu 70 PP + 30 KA, 80 PP + 20 KA, 90 PP + 10 KA, dan variasi ukuran *mesh* 38, 53, 90 mm, sehingga hasil yang didapat di analisis menggunakan metode Taguchi dan mengumpulkan data melalui Software minitab. Berdasarkan tabel di atas ayakan dengan ukuran 53 mesh dengan pencacahan mesin pencacah menggunakan bahan cacah variabel 90%PP ditambah 10%KA hasil yang didapatkan adalah 0.627 gram. Dan pada pengolahan 80%PP ditambah 20%KA dengan ayakan 53 mesh didapatkan hasil 0.55 gram, dan pada pecacahan 70%PP ditambah 30%KA dengan ayakan 53 mesh didapatkan hasil 0.612 gram. dengan ukuran 90 mesh dengan pencacahan mesin pencacah menggunakan bahan cacah variabel 90%PP ditambah 10%KA hasil yang didapatkan adalah 0.703 gram. Dan pada pengolahan 80%PP ditambah 20%KA dengan ayakan 90 mesh didapatkan hasil 0.614 gram, dan pada pecacahan 70%PP ditambah 30%KA dengan ayakan 53 mesh didapatkan hasil 0.612 gram. dengan ukuran mesh terkasar atau dengan tulis tidak ter ayak dengan pencacahan mesin pencacah menggunakan bahan cacah variabel 90%PP ditambah 10%KA hasil yang didapatkan adalah 58.67 gram. Dan pada pengolahan 80%PP ditambah 20%KA dengan tidak ter ayak didapatkan hasil 58.836 gram, dan pada pecacahan 70%PP ditambah 30%KA dengan tidak ter ayak didapatkan hasil 58.836 gram.

Kata kunci: Mesin Pencacah, Mesh, Polimer Komposit

ABSTRACT

The value of the material affects when the filtering process uses variations of mesh/sieve with different mesh sizes to produce the desired analysis value. Based on the description above, this study will use a sieve / mesh on the shredding machine to find out the desired particle value size using the Taguchi method analysis This research was conducted to obtain results in the counting process in order to obtain particle size values with variations in composite materials, namely 70 PP + 30 KA, 80 PP + 20 KA, 90 PP + 10 KA, and variations in mesh sizes of 38, 53, 90 mm, so that the results obtained are analyzed using the Taguchi method and collect data through minitab software. Based on the table above, a sieve with a size of 53 mesh with shredding machine using variable chopping material of 90%PP plus 10%KA, the result obtained is 0.627 grams. And in processing 80% PP plus 20% KA with a 53 mesh sieve obtained a result of 0.55 grams, and in a 70% PP plus 30% KA with a 53 mesh sieve obtained a result of 0.612 grams. with a size of 90 mesh with shredding machine using variable chopping material 90%PP plus 10%KA the result obtained is 0.703 grams. And in the processing of 80% PP plus 20% KA with a 90 mesh sieve obtained a result of 0.614 grams, and in the processing of 70% PP plus 30% KA with a 53 mesh sieve obtained a result of 0.612 grams. with the coarsest mesh size or with unsifted writing with shredding machine enumeration using variable chopping material 90%PP plus 10%KA the result obtained is 58.67 grams. And in the processing of 80% PP plus 20% KA with no sieve obtained a result of 58,836 grams

Keywords: Composite, Mesh Machine, Polymer.

RIWAYAT HIDUP

Jonathan Purba adalah nama Penulis Skripsi ini. Penulis lahir dari orang tua yang bernama Tiarlin Sinaga S.Pd. (Ibu) dan Nelson Purba S.Th (Ayah) sebagai anak ke – Dua dari Empat bersaudara. Penulis dilahirkan di Sitamba Pealange, Provinsi Sumatera Utara pada tanggal 06 Pebruari1998.

Penulis menempuh pendidikan dimulai dari Sd negeri 173298 Sitabo-tabo Kecamatan Siborong-borong. (lulus tahun 2010), melanjutkan ke Smp Negeri 4 Siborong-borong lulus (tahun 2013) dan Smk Negeri 1 Pollung (lulus tahun 2016) dan pada tahun 2018 melanjutkan Pendidikan di Universitas Medan Area, di Fakultas Teknik.

Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT. Perkebunan Nusantara IV PKS Unit Usaha Adolina (PTPN IV PKS ADOLINA).

Puji Tuhan hingga tahap sekarang penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan waktu yang tepat dan memotivasikan diri agar bisa cepat selesai.

Berkat petunjuk dan pertolongan Tuhan yang Maha Esa dan disertai doa kedua orang tua dalam menjalani aktivitas Akademik di Universitas Medan Area penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan Skripsi yang berjudul “Analisis Ukuran Partikel Pada Proses Mesin Pencacah Polimer Komposit Skala Laboratorium”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian ini ialah Analisis Ukuran Partikel Pada Mesin Pencacah Polimer Komposit Skala Laboratorium.

Terima kasih penulis sampai kepada Dr. Iswandi, S.T, M.T. dan Bobby Umroh, S.T, M.T. selaku pembimbing serta telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada rekan-rekan kelompok yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terimakasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh rekan Seperjuangan atas doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



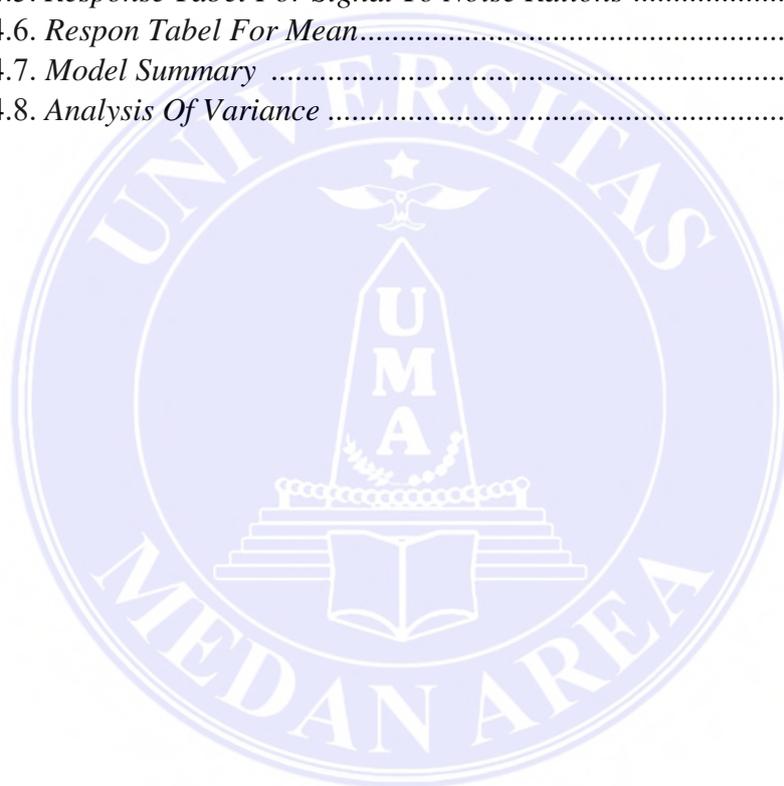
(Jonathan Purba)

DAFTAR ISI

HALAMAN	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Mesin Pencacah.....	6
2.2 Material Komposit.....	9
2.3 Pengayakan.....	16
2.4 Tipe – tipe Pengayakan	20
2.5 Metode Taguchi.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.2 Bahan dan Alat	33
3.3 Metode Penelitian	39
3.4 Prosedur Kerja.....	39
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Hasil.....	42
4.2 Pembahasan	43
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Simpulan.....	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Standar <i>Tyler</i> Pada Ayakan.....	19
Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian	32
Tabel 3.2. Spesifikasi Bahan Yang Digunakan.....	35
Tabel 3.3. Spesifikasi Timbangan Yang Digunakan.....	38
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Penyaringan Menggunakan Mesh	42
Tabel 4.2. Jumlah Faktor dan Level Pada Percobaan Taguchi	43
Tabel 4.3. Matriks Ortogonal Aray L9.....	43
Tabel 4.4. Tabel Hasil SNR dan <i>Mean</i>	44
Tabel 4.5. <i>Response Tabel For Signal To Noise Rations</i>	44
Tabel 4.6. <i>Respon Tabel For Mean</i>	45
Tabel 4.7. <i>Model Summary</i>	46
Tabel 4.8. <i>Analysis Of Variance</i>	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mesin Pencacah.....	7
Gambar 2.2. Prinsip Kerja Mesin Pencacah.....	8
Gambar 2.3. Penyusun Komposit.....	11
Gambar 2.4. Tipe Serat Pada Komposit.....	13
Gambar 2.5. Struktur Laminate.....	15
Gambar 2.6. Mikro Struktur Laminate.....	15
Gambar 2.7. Struktural Composites Sadwich Panels.....	16
Gambar 2.8. Pengayakan Manual	21
Gambar 2.9. Pengayakan Mekanik	21
Gambar 3.1. Biji Plastik Polypropylene	34
Gambar 3.2. Karbon Aktif	36
Gambar 3.3. Mesin Pencacah.....	36
Gambar 3.4. <i>Stopwatch</i>	37
Gambar 3.5. Wadah Penampung.....	37
Gambar 3.6. Timbangan.....	37
Gambar 3.7. Ayakan	38
Gambar 3.8. Diagram alir penelitian.....	41
Gambar 4.1. <i>Plot For SN Rations</i>	45
Gambar 4.2. <i>Main Effects Plot For Mean</i>	46
Gambar 4.3. <i>Pareto Charts Of The Standardized Effects</i>	47
Gambar 4.4. Histogram.....	47
Gambar 4.5. Hasil Cacahan Polimer Komposit Dengan Kriteria Kasar	49
Gambar 4.6. Hasil Cacahan Polimer Komposit Dengan Kriteria Sedang.....	50
Gambar 4.7. Hasil Cacahan Polimer Komposit Dengan Kriteria Halus	50

DAFTAR NOTASI

F	=	Gaya Pada Pisau (N)
A	=	Luas Penampang Bahan (mm)
f_s	=	Tegangan geser bahan (N/cm^3)
Q	=	Kapasitas Pemotongan (Kg/jam)
ρ	=	Massa Jenis Plastik (g/cm^3)
V	=	Hasil Pemotongan (m/min)
T	=	Torsi Pada Pisau (N.m)
r	=	$\frac{1}{2}$ Diameter pisau (mm)
V_1	=	Putaran Potong (m/s)
d	=	Diameter Poros (mm)
n	=	Putaran Poros (rpm)
T	=	Torsi (Nm)
n	=	Putaran Poros (rpm)
Σ	=	Tegangan (N/m^2)
δl	=	Deformasi (m)
L	=	Panjang (m)
E	=	Modulus elastisitas (MPa)
σ_1	=	Tegangan 1 (N/m^2)
σ_2	=	Tegangan 2 (N/m^2)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Penggunaan material komposit mulai banyak dipakai pada industri manufaktur. Material komposit yang ramah lingkungan dan bisa didaur ulang kembali merupakan tuntutan saat ini. (Suroso, B., & Rajali, R. 2019). Bahan pengisinya bisa berupa serat herbal atau serat sintetis. Serat sintetis dapat diperoleh dari bahan plastik yang merupakan limbah yang tidak dapat terurai oleh alam. Bahan plastik ini didapat dari plastik bekas kemasan minuman yang hanya bisa digunakan sekali saja. Jumlah ini bisa sangat besar di jaringan pembuangan limbah.

Fuel cell merupakan alat konversi energi yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi. *Fuel cell* dapat menguraikan gas hidrogen menjadi energi Listrik Adapun sel bahan bakar yang akan digunakan adalah *Proton Exchanger Membrane* (PEM). *Proton Exchanger Membrane* menyalurkan berat jenis yang tinggi dan menawarkan keuntungan pada berat volume yang rendah dibandingkan sel bahan bakar lainnya. Sel bahan bakar PEM menggunakan *polimer solid* sebagai elektrolit dan elektroda karbon yang mengandung katalis, platinum. *Proton Exchanger Membrane* membutuhkan hidrogen dan oksigen dari udara luar untuk beroperasi.

Material komposit adalah material yang sangat penting karena mempunyai sifat-sifat yang khusus. Sifat-sifat tersebut diantaranya adalah kekakuannya, kekuatannya, ringan, tidak terkorosi serta usia fatik yang lebih baik dibanding bahan konvensional lainnya. (Arif, Z. 2023) Polimer adalah zat yang molekulnya

memiliki massa molar tinggi dan terdiri dari sejumlah besar unit berulang yang disebut monomer. Polimer terjadi baik dalam bentuk alami maupun sintetis. Polimer sintetis yang biasa disebut plastik direproduksi secara komersial dalam skala besar dan memiliki berbagai sifat dan kegunaan. (Triadi, N.Y., Martana, B., & Pradana, S.2020). Komposit adalah sistem material multi fasa yang terbentuk dari dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda. Komposit terdiri serat dan matriks. Serat berfungsi sebagai material rangka yang menyusun komposit. Sedangkan matriks berfungsi untuk merekatkan serat dan menjaganya agar tidak berubah posisi. Pada material komposit yang dicacah kali ini adalah campuran *Polypropylene/PP* dan Karbon Aktif/KA.

Pada mesin pencacah/penghancur adalah mesin yang digunakan Mesin pencacah adalah mesin yang digunakan untuk mencacah material bahan yang dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil. (Azhari, C., & Maulana, D. 2018) Proses cacahan menjadi serpihan dapat melalui beberapa tahap dimana pada tahap pertama yaitu plastik dimasukkan ke dalam mesin melalui sebuah corong yang terdapat pada mesin kemudian material yang akan dicacah tersebut akan dicacah/dihancurkan oleh pisau menjadi serpihan yang kecil, kemudian akan disaring, serpihan yang masih terlalu besar akan dipotong/dicacah lagi menjadi serpihan yang lebih kecil untuk dapat melewati saringan, serpihan yang telah melewati saringan itulah yang merupakan hasil yang diinginkan.

Pengayakan adalah sebuah cara pengelompokan butiran, yang akan dipisahkan menjadi satu atau beberapa kelompok, dengan demikian dapat dipisahkan antara partikel lolos ayakan (butiran halus) dan yang tertinggal di

ayakan (butiran kasar). (Cahyono, A. I., Qiram, I., & Rubiono, G. 2019) Ukuran butiran tertentu yang masih bisa melintas ayakan, dinyatakan sebagai butiran batas.

Pada penelitian sebelumnya membahas tentang “Pengaruh ukuran partikel arang dari limbah tutup botol plastik terhadap kualitas briket”. Dengan menggunakan mesh variasi ukuran partikel 40, 60, dan 100 mesh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ukuran partikel 40 mesh memiliki karakteristik terbaik yaitu kadar air $0,5\pm 0,05\%$, kadar abu $2\pm 0,25\%$, kadar zat menguap $15\pm 0,51\%$, kadar karbon terikat $82,5\pm 0,32\%$, dan nilai kalor sebesar $9.982,779\pm 240,017$ kal/gram. (Ningsih, E., Udyani, K., Budianto, A., Hamidah, N., & Afifa, S. 2020) Berdasarkan hasil analisis proksimat dapat disimpulkan bahwa ukuran partikel 40 mesh dapat meningkatkan kualitas briket dibandingkan 100 mesh.

Adapun penelitian lainnya dengan judul “Karakterisasi Pengaruh Ukuran Mesh 10, 20 dan 30 terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Material Komposit Partikel Tandan Kosong Kelapa Sawit”. Penelitian melakukan variasi perbedaan ukuran partikel TKKS yaitu mesh 10 (A1), 20 (A2), dan 30 (A3) dengan fraksi volume komposit 20% (B1), 30% (B2) dan 40% (B3). Pengujian fisis material dilakukan berdasarkan standar ASTM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik sifat fisis komposit memiliki nilai density terendah yaitu $1,0858$ gr/cm³ (A3-B3). Karakteristik sifat fisisnya menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel TKKS nilai kerapatannya akan menurun, dan semakin besar fraksi volume partikel TKKS kerapatannya juga akan menurun. (Putra, A. P., Sujana, I., & Wicaksono, R. A.)

Pada mesin pencacah pencacah/penghancur dengan tipe *shredder* diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui hasil cacahan dengan proses penyaringan menggunakan variasi mesh/saringan dengan ukuran mesh yang berbeda, untuk mendapatkan hasil yang diperlukan.

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian kali ini akan menggunakan saringan/mesh pada mesin pencacah agar mengetahui ukuran nilai partikel yang diinginkan dengan menggunakan analisis metode Taguchi dengan *software* minitab 21.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- a) Berapa hasil nilai partikel pada penyaringan dengan ukuran mesh 38 μm , 53 μm dan 90 μm dengan menggunakan metode Taguchi?
- b) Bagaimana pengaruh saringan dengan menggunakan mesh 38 μm , 53 μm dan 90 μm ?
- c) Berapakah waktu proses pencacahan yang diperlukan untuk mendapatkan nilai kehalusan pada saat penyaringan dengan menggunakan mesh yang sudah ditentukan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah diatas, adapun yang menjadi tujuan dalam pembuatan tugas akhir ini sebagai berikut :

- a) Menganalisis berapa besar pengaruh saringan/ayakan terhadap hasil partikel.
- b) Mengetahui berapa hasil yang tersaring dan tidak tersaring pada ayakan/saringan.
- c) Menghitung berapa jumlah kehalusan yang dihasilkan pada mesin pencacah.

1.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan penelitian ini diharapkan penggunaan mesh/ saringan yang digunakan dapat meningkatkan bahan untuk digunakan sebagai bahan kinerja mesin pencacah polimer komposit dan hasil yang sempurna.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Manfaat Ilmiah

Penulisan skripsi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang cukup sebagai masukan pengetahuan atau sastra ilmiah yang dapat dijadikan bahan kajian bagi para penelitian lainnya.

2. Manfaat Praktis

Adapun manfaat dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- a) Sebagai penambah pengetahuan bagi penulis dan pembaca tentang panduan penggunaan ayakan.

- b) Memberikan kontribusi kepada masyarakat dalam pengelolaan limbah palstik.
- c) Untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah plastik.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Pencacah

Mesin pencacah merupakan salah satu bagian dari mekanisme pengolahan polimer untuk di daur ulang. Dalam hal ini mesin pencacah memiliki peran besar, dimana polimer akan dicacah menjadi ukuran kecil yang kemudian diproses kembali menjadi biji plastik sebagai bahan dasar pembuatan komposit mesin ini memiliki komponen-komponen pendukung yang saling berkaitan sehingga menjadi suatu bagian mekanisme yang kompak, namun tetap memiliki prinsip yang simpel.

Terdapat beberapa tahap proses pencacahan polimer menjadi ukuran-ukuran kecil, dimulai dari memasukkan polimer kedalam mesin melalui corong masuk atau *hopper*, lalu polimer akan jatuh ke pisau pencacah yang berputar sehingga terjadi pencacahan menjadi ukuran kecil, yang kemudian hasil cacahan akan keluar melalui corong dan ditampung oleh wadah penampung. Dalam bentuk sederhana mesin pencacah polimer terdiri dari motor penggerak, dan poros. Putaran motor ditransmisikan oleh *gearbox* atau *reducer* untuk memutar poros yang selanjutnya memutar pisau pencacah.

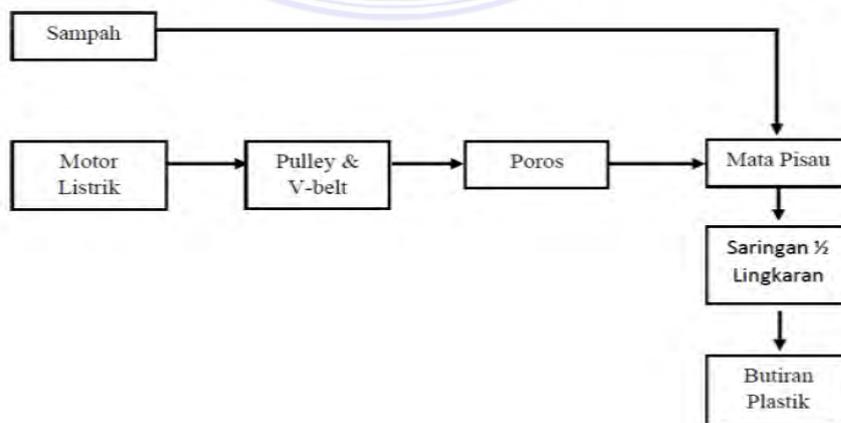
Mata pisau pencacah dengan tipe *shredder*, biasanya dilakukan pada putaran yang rendah (*low speed, high torque*). Pada mesin pencacah bentuk dan ukuran pisau mempengaruhi hasil cacahan, karena dari jumlah/banyaknya pisau yang diperlukan menentukan hasil kapasitas yang didapat. Mesin pencacah polimer dapat dilihat pada gambar 2.1. berikut ini.



Gambar 2.1. Mesin Pencacah

2.1.1. Prinsip Kerja Mesin Pencacah

Prinsip kerja dari mesin pencacah polimer ini dengan menggerakkan pisau putar yang berasal dari penggerak motor listrik. (Sopyan, D., & Suryadi, D. 2020) Dimana daya dari motor listrik ditransmisikan menggunakan *pulley* dan *v-belt*. Transmisi ini untuk memutar poros yang terdapat pisau untuk mencacah plastik. Sehingga ketika material komposit dimasukkan kedalam mesin melalui hopper (corong masuk) akan mengenai pisau pencacah. Disinilah terjadi proses pemotongan komposit yang kemudian keluar melalui corong keluar sehingga dapat tersaring. Proses dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Prinsip kerja mesin pencacah

2.1.2 Pisau Pencacah

Pisau pencacah adalah pisau yang berfungsi untuk mencacah sampah plastik menjadi potongan kecil sesuai geometri yang diharapkan. Pencacahan dapat dikatakan baik apabila menggunakan mata pisau yang tajam dengan desain sudut mata pisau yang sesuai. Pisau pencacah dikategorikan menjadi dua fungsi yaitu sebagai berikut:

1. Pisau Dinamis

Pisau dinamis adalah pisau yang mempunyai kekuatan dan ketajaman tertentu agar dapat menghancurkan plastik menjadi potongan-potongan kecil. Pisau ini dirancang untuk putaran tinggi, jadi untuk dudukan pisau harus diperhatikan hasil pengelasannya agar tidak lepas dan menimbulkan kecelakaan, begitu juga pemasangan pada dudukan pisau, harus dikunci kuat sebelum mesin dinyalakan.

2. Pisau Statis

Pisau statis adalah pisau yang dipasangkan pada dudukan pisau yang ada pada rangka mesin. Pisau ini terdiri dari 2 buah yang dipasang sejajar dan sedikit miring dengan poros pisau dinamis dengan sisi tajam yang berdekatan dan berhadapan, sehingga pada saat berputar menyebabkan gaya sobek pada plastik. Pisau ini dipasang dengan 3 buah baut dan mur, sehingga posisinya dapat diatur agar sesuai dengan kebutuhan mesin.

2.2 Material Komposit

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam *level* makroskopik selagi membentuk

komponen tunggal sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit bersifat heterogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing-masing memiliki sifat yang berbeda dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan keinginan.

Komposit pada dunia industri merupakan campuran antara polimer (bahan makromolekul dengan ukuran besar yang diturunkan dari minyak bumi ataupun bahan alam lainnya seperti karet dan serat). Dapat dikatakan bahwa komposit adalah gabungan antara bahan matrik atau pengikat yang diperkuat. Bahan material terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai pengikat dan bahan pendukung sebagai penguat. Bahan penguat dapat dibentuk serat, partikel, serpihan atau dapat berbentuk yang lain. (Setiawan, A., Nilasari, A. R., & Ari, M. 2016).

2.2.1. Tujuan pembuatan material komposit

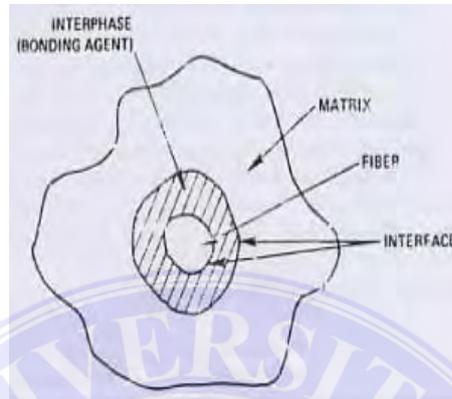
Berikut ini adalah tujuan dari dibentuknya material komposit, yaitu sebagai berikut:

- 1) Memperbaiki sifat mekanik dan/atau sifat spesifik tertentu.
- 2) Mempermudah design yang sulit pada manufaktur.
- 3) Keleluasaan dalam bentuk/*design* yang dapat menghemat biaya.
- 4) Menjadikan bahan lebih ringan.

2.2.2. Penyusun Komposit

Penyusun Komposit Komposit pada umumnya terdiri dari 2 fasa yaitu, *matriks* dan *Reinforcement* atau *Filler* atau *Fiber*. Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; Matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), Penguat (Penahan beban utama),

Interphase (pelekat antar dua penyusun), *interface* (permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain). (Nayiroh, N. 2013). Dapat dilihat pada gambar 2.3. sebagai berikut.



Gambar 2.3. Penyusun Komposit

Secara strukturmikro material komposit tidak merubah material pembentuknya (dalam orde kristalin) tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya karena terjadi ikatan antar permukaan antara matriks dan *filler*.

Syarat terbentuknya komposit adanya ikatan permukaan antara matriks dan *filler*. Ikatan antar permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi. Dalam material komposit gaya *adhesi-kohesi* terjadi melalui 3 cara utama:

- 1) *Interlocking* antar permukaan: ikatan yang terjadi karena kekasaran bentuk permukaan partikel.
- 2) Gaya *elektrostatik*: ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara atom yang bermuatan (ion).
- 3) Gaya *vanderwalls*: ikatan yang terjadi karena adanya pengutupan antar partikel.

a. Partikel sebagai penguat (*Particulate composites*)

Keuntungan dari komposit yang disusun oleh *reinforcement* berbentuk partikel yaitu kekuatan lebih seragam pada berbagai arah, dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material, cara penguatan dan pengerasan oleh partikulat adalah dengan menghalangi pergerakan dislokasi.

Panjang partikel dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut:

1) *Large particle*

Komposit yang disusun oleh *reinforcement* berbentuk partikel, dimana interaksi antara partikel dan matrik terjadi tidak dalam skala atomik atau molekular. Partikel seharusnya berukuran kecil dan terdistribusi merata. Contoh dari *large particle composite* adalah *cemet* dengan *sand* atau *gravel*, *cemet* sebagai matriks dan *sand* sebagai atau *gravel*, *cemet* sebagai matriks dan *sand* sebagai partikel, *Sphereodite steel* (*cementite* sebagai partikulat), *Tire* (carbon sebagai partikulat), *Oxide-Base Cermet* (oksida logam sebagai partikulat).

2) *Dispersion strengthened particle*

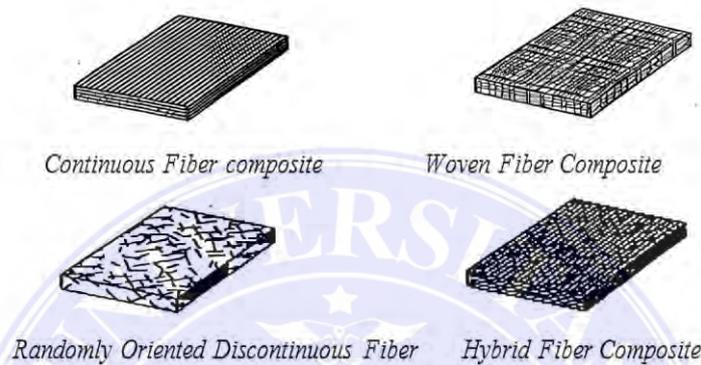
- a. Fraksi partikulat sangat kecil, jarang lebih dari 3%.
- b. Ukuran yang lebih kecil yaitu sekitar 10-250 nm.

b. *Fiber* sebagai penguat (*Fiber composites*)

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban

maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit.

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit, yaitu dapat dilihat pada gambar 2.4. dibawah ini.



Gambar 2.4. Tipe serat pada komposit

1) *Continuous Fiber Composite*

Continuous atau *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

2) *Woven Fiber Composite (bi-directional)*

Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continuous fiber*.

3) *Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite)*

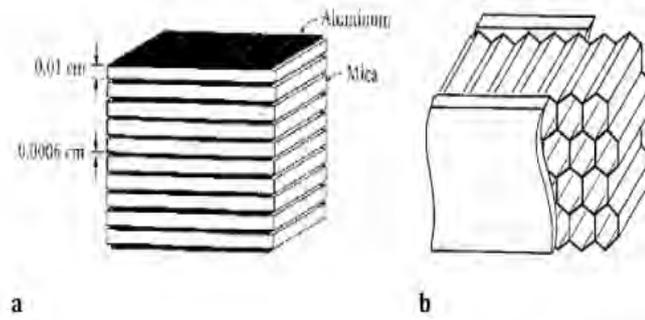
Komposit dengan tipe serat pendek masih dibedakan lagi menjadi : *Aligned discontinuous fiber*, *Off-axis aligned discontinuous fiber*, *Randomly oriented discontinuous fiber* *Randomly oriented discontinuous fiber* merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

4) *Hybrid fiber composite*

Hybrid fiber composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya.

c. *Fiber sebagai struktural (Structute composites)*

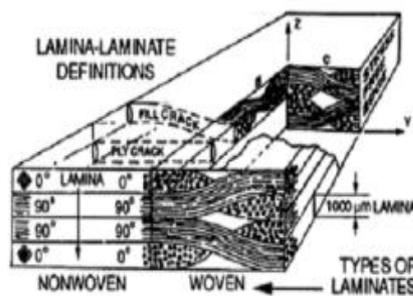
Komposit struktural dibentuk oleh *reinforce- reinforce* yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminata* dan struktur *sandwich*, ilustrasi dari kedua struktur komposit tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. a. Struktur *laminate* b. *Sandwich panel*

1) *Laminate*

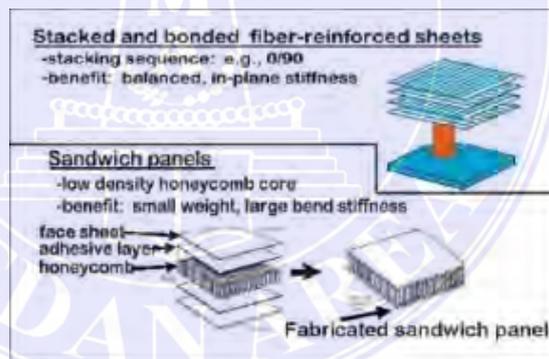
Laminate adalah gabungan dari dua atau lebih lamina (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara *integral* pada komposit. Proses pembentukan lamina ini menjadi *laminate* dinamakan proses *laminasi*. Sebagai elemen sebuah struktur, lamina yang serat penguatnya searah saja (*unidirectional* lamina) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminate* yang terdiri dari beberapa macam lamina atau lapisan yang diorientasikan dalam arah yang diinginkan dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur. Mikrostruktur lamina dan jenis-jenis dari arah serat dapat dilihat pada gambar 2.6. dibawah ini.



Gambar 2.6. Mikrostruktur *lamina*

2) Sandwich panels

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite* (*metal sheet*) sebagai kulit permukaan (*skin*) serta material inti (*core*) di bagian tengahnya (berada di antaranya). *Core* yang biasa dipakai adalah *core import*, seperti *polyuretan* (PU), *polyvinyl Chlorida* (PVC), dan *honeycomb*. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core*. dapat dilihat pada gambar 2.7. dibawah ini.



Gambar 2.7. *Structural composites sandwich panels*

2.3 Pengayakan

Pengayakan merupakan pemisahan berbagai campuran partikel padat yang mempunyai berbagai ukuran bahan dengan menggunakan ayakan. Proses pengayakan juga digunakan sebagai alat pembersih, pemisah kontaminan yang ukurannya berbeda dengan bahan baku. (Kusnanto, A. L. 2017). Pengayakan memudahkan kita untuk mendapatkan serbuk dengan ukuran yang seragam.

Dengan demikian pengayakan dapat didefinisikan sebagai suatu metode pemisahan berbagai campuran partikel padat sehingga didapat ukuran partikel yang seragam serta memiliki ukuran yang berbeda dengan menggunakan alat pengayakan.

Sizing sangat luas dipakai untuk pemisahan ukuran 300 mm hingga menjadi ukuran sekitar 40 m, meskipun efisiensi ikut menurun seiring dengan tingkat kehalusan. Ayakan kering biasanya terbatas pada material di atas 5 mm, sedangkan ayakan ring basah umumnya berukuran 250 m, metode untuk penanganan material dibawah 250 m ditangani dengan menggunakan metode klasifikasi. Pemilihan penggunaan antara ayakan dan klasifikasi dipengaruhi adanya pertimbangan bahwa pemisahan yang halus membutuhkan area yang luas untuk permukaan ayakan dan oleh karena itu proses ini memerlukan biaya yang mahal dibandingkan dengan proses klasifikasi. (Syahputra, A.P.). Berikut tujuan dilakukan ayakan

- a. *Sizing/classifying* untuk memisahkan partikel berdasarkan ukuran. Biasanya untuk menyediakan unit proses dengan *range* ukuran partikel yang diinginkan disesuaikan dengan unit operasinya masing-masing.
- b. *Scalping* untuk menghilangkan fraksi partikel yang kasar pada material pengumpan, biasanya hasil *scalping* pada akhirnya dapat dihancurkan atau dihilangkan dari proses.
- c. *Grading* untuk menyiapkan sejumlah produk dengan *range* ukuran yang diinginkan.
- d. *Media recovery* sebagai media *magnetic* untuk membersihkan biji.
- e. *Dewatering* untuk menghilangkan kotoran dari proses *wet sand slurry*.
- f. *Desliming* atau *de-dusting* untuk menghilangkan material yang halus, umumnya dibawah 0,5 mm dari umpan basah atau kering.

g. *Trash removal* biasanya digunakan untuk menghilangkan serat kayu dari arus slurry yang halus.

Dalam bentuk sederhana ayakan memiliki banyak celah atau lubang, biasanya dengan dimensi yang sama. Tidak ada metode yang secara universal menerima pendefinisian performa ayakan dan jumlah metode yang dipakai.

Penforma dari ayakan melibatkan dua hal yaitu,

- 1) Efisiensi Ayakan
- 2) *Mass balance* ayakan yang dipengaruhi oleh,

$$F = C + U, \text{ Jika}$$

f = fraksi material feed

c = fraksi material yang tertahan ayakan

u = fraksi material yang lolos

maka, Efisiensi keseluruhan dari ayakan :

$$E = \frac{C(F-U)(1-U)(C-F)}{F(C-U)^2(1-F)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Jika dianggap *coarse* material semua di ayakan, maka u dapat dianggap =0 (berarti *coarse* material terseleksi baik), maka efisiensi dapat ditulis :

$$E = \frac{C-F}{C(1-F)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada prakteknya, banyak hal yang mempengaruhi efisiensi ayakan :

- 1) Ukuran partikel yang mendekati ukuran *aperture*.
- 2) Robeknya *aperture*.

Fakto-faktor yang mempengaruhi penforma ayakan :

- 1) *Feed rate high feed rate* diperlukan untuk mengurangi *article dweel time*.

- 2) *Vibration* pada ayakan. Tujuan untuk meningkatkan efisiensi, semakin tinggi laju *feed* (*feed rate*) makin besar *vibraturion* yang dilakukan.
- 3) Sudut datang dan orientasi partikel saat di ayakan.

Jika partikel tidak berbentuk bola, pada satu sisi memiliki luas area yang kecil untuk melewati ayakan dan sisi lain memiliki luas yang berbeda lebih besar yang justru menghambat pergerakan ke ayakan.

Distribusi partikel akan ditentukan oleh *screen analysis*, dengan berbagai skala yang digunakan. Suhu satu skala yang umum digunakan adalah *American tyler screen* (*tyler standard series*) dimana ukuran *screen* adalah mesh atau *wires per linear inch* (1 inch = 2.54 cm). Ukuran *tyler* dimulai dari 1.05 inch (26.67 mm), untuk partikel yang lebih kecil umumnya digunakan *microns* (1 micron = 10^{-3} mm). Sehingga 200 mesh setara dengan 74 microns pada *tyler screen series*, tabel *tyler screen series* dapat dilihat pada tabel 2.1. dibawah ini

Tabel 2.1. Standar *tyler* pada ayakan

No	Aperture size		Tyler mesh #
	Millimeters	Microns	
1.	26.67	-	-
2.	18.85	-	-
3.	13.33	-	-
4.	9.423	-	-
5.	6.680	-	3
6.	4.699	-	4
7.	3.327	-	6

No	Aperture size		Tyler mesh #
	Millimeters	Microns	
8.	2.362	-	8
9.	1.651	-	10
10.	1.168	-	14
11.	0.833	833	20
12.	0.589	589	28
13.	0.417	417	35
14.	0.295	295	48
15.	0.208	208	65
16.	0.147	147	100
17.	0.104	104	150
18.	0.074	74	200
19.	0.052	52	270
20.	0.037	37	400

2.4 Tipe-tipe Pengayakan

a. Pengayakan manual

Pengayakan dilakukan dengan memaksa bahan melewati lubang ayakan, umumnya dilakukan dengan bantuan bilah kayu atau bilah bahan sintetis. Sekelompok partikel dinyatakan memiliki tingkat kehalusan tertentu jika seluruh partikel dapat melintas dari lebar lubang yang sesuai (artinya tanpa sisa diayakan). Laili, R. R. (2010). Tipe pengayakan secara manual dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Pengayakan Manual

b. Pengayakan mekanik

Pengayakan secara mekanik dapat dikelompokkan dengan cara ayakannya yaitu, pengayak getar, guncang atau kocokan dilakukan dengan bantuan mesin, yang umumnya mempunyai satu set ayakan dengan ukuran lebar lubang standar yang berlainan. Bahan yang didalam ayakan, akan bergerak-gerak diatas ayakan, berdesakan melalui lubang kemudian terbagi menjadi fraksi-fraksi yang berbeda-beda Tipe pengayakan secara mekanik dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Pengayakan Mekanik

2.5 Metode Taguchi

2.5.1. Pengertian metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses, dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode ini dikenal juga dengan sebutan *robust design* (perancangan kokoh) karena Taguchi berusaha untuk menjadikan produk atau proses menjadi kokoh terhadap faktor gangguan (*noise factor*). Taguchi menekankan bahwa cara terbaik untuk meningkatkan kualitas adalah dengan merancang kualitas ke dalam produk, yang dimulai sejak tahap desain produk. Kualitas yang rendah tidak dapat diperbaiki dengan proses pemeriksaan (*inspection*) dan penyaringan (*screening*). Masalah pengendalian kualitas modern tidak lagi didominasi oleh aktifitas-aktifitas pengendalian proses dan inspeksi, tetapi sudah harus dimulai pada tahap yang lebih awal, yaitu tahap desain produk. (Mayasari, A. I., Wuryandari, T., & Hoyyi, A. 2014).

2.5.2. Tahapan-tahapan Metode Taguchi

Pada umumnya metode Taguchi terdiri dari tahap utama yaitu:

1. Tahapan Perencanaan Eksperimen

Merupakan tahap terpenting dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Perumusan masalah: Perumusan masalah harus jelas secara teknis dan harus dapat dituangkan kedalam eksperimen yang akan dilakukan.
- b. Tujuan eksperimen: Tujuan yang melandasi eksperimen harus sesuai dengan apa yang dinyatakan dalam perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat masalah yang diamati

- c. Penentuan variabel tak bebas: Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain (variabel respon).
- d. Identifikasi faktor-faktor (variabel bebas): Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh, terhadap beberapa metode, diantaranya *brainstorming*, *flowchart*, *fishbone diagram*.
- e. Pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan: Faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan gangguan. Dalam metode Taguchi keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dapat dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin diatur atau dikendalikan. Satu faktor kontrol dapat mempunyai lebih dari satu nilai yang disebut *level*. Faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak dapat diatur dan dikendalikan. Walaupun dapat dikendalikan, biayanya akan mahal. Faktor gangguan ini juga sulit diprediksi terhadap variabel respon.
- f. Penentuan jumlah *level* dan nilai *level* factor: Pemilihan jumlah *level* penting artinya karena berhubungan dengan ketelitian hasil eksperimen dan ongkos pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak *level* dalam satu faktor berarti semakin teliti hasil eksperimennya karena data yang diperoleh banyak. Namun banyaknya *level* ini akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga menambah biaya eksperimen. Selain jumlah *level*, *range level* juga penting untuk diperhatikan. Jika *range level* terlalu pendek ataupun lebar, pengaruh yang didapat tidak signifikan.

g. Perhitungan derajat kebebasan Derajat kebebasan dibagi menjadi dua, yaitu derajat kebebasan faktor dan derajat kebebasan interaksi.

1) Derajat kebebasan faktor ($V_{ff} = \text{jumlah level}-1$)

2) Derajat kebebasan interaksi

Interaksi ($A \times B$) = [jumlah *level* faktor A-1] × [jumlah *level* B-1]

Kumulasi dari derajat kebebasan faktor dan interaksi yang dipakai akan membentuk derajat kebebasan faktor total. Selain kedua derajat kebebasan di atas, peneliti juga perlu menghitung derajat kebebasan dari Matriks *Orthogonal* ($V_{OA} = (\text{banyaknya eksperimen}-1)$)

h. Pemilihan matriks *orthogonal*: Matriks orhogonal adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor yang dapat dikendalikan dalam eksperimen sedangkan baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen.

Bentuk umum dari model matriks *orthogonal* adalah:

$$L_a (b^c) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

L = rancangan bujur sangkar latin

a = banyak baris/eksperimen

b = banyak *level*

c = banyaknya kolom/faktor

Terdapat beberapa kelompok matriks *orthogonal* berdasarkan jumlah *level* yang dipakai dalam eksperimen.

i. Penempatan kolom untuk faktor dan interaksi ke dalam matriks *orthogonal*:

Untuk memudahkan peletakan faktor dan interaksi pada kolom yang

tersedia dalam matriks *orthogonal*, Taguchi menyatakan grafik linier dan tabel triangular untuk masing-masing matriks *orthogonal*. Grafik linear adalah serangkaian "titik" dan "garis" yang bersesuaian dengan kolom-kolom matriks *orthogonal* yang sesuai. Setiap grafik linear berhubungan dengan satu matriks *orthogonal*, tetapi suatu matriks *orthogonal* dapat diperoleh dari beberapa grafik linear. Grafik linear memberikan gambaran informasi faktor dan interaksi serta memudahkan untuk memasukkan faktor dan interaksi ke berbagai kolom dari matriks *orthogonal*.

2. Tahapan Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan eksperimen diawali dengan penentuan jumlah replikasi eksperimen dan randomisasi pelaksanaan eksperimen.

a. Jumlah replikasi: Replikasi adalah suatu pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi dilakukan dengan tujuan:

- 1) Menambah ketelitian data eksperimen.
- 2) Mengurangi tingkat kesalahan pada eksperimen.
- 3) Memperoleh harga taksiran kesalahan eksperimen sehingga memungkinkan diadakannya uji signifikan hasil eksperimen.

b. Randomisasi: Dalam eksperimen, selain faktor-faktor yang diselidiki pengaruhnya terhadap variabel, juga terhadap faktor-faktor lain yang tidak terkendali atau tidak diinginkan (seperti kelelahan operator, naik/turunnya daya mesin, panasnya lingkungan, dan lain-lain) yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. Pengaruh faktor-faktor tersebut diperkecil dengan

menyebarkan pengaruh tersebut selama eksperimen melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Secara umum, randomisasi dimaksudkan untuk:

- 1) Meratakan pengaruh faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen.
- 2) Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
- 3) Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas satu sama lain.

Jika replikasi dilakukan dengan tujuan untuk memungkinkan dilakukan uji signifikan, maka randomisasi bertujuan menjadikan uji tersebut valid dengan menghilangkan sifat biasnya. Setelah replikasi dan randomisasi direncanakan, maka selanjutnya dapat dilakukan pengumpulan data eksperimen.

3. Tahap Analisis

Tahap ini merupakan tahap pengolahan data eksperimen yang meliputi perhitungan dan pengujian data dengan statistik, seperti analisis variansi (Anova), tes hipotesa, dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil eksperimen.

a. Analisis varians Taguchi

Analisis varians (Anova) adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistika.

Anova digunakan untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Analisis varians yang

dipakai adalah analisis varians dua arah karena faktor dan level yang dimiliki lebih dari 1.

b. Perhitungan SNR (*Signal to Noise Ratio*)

Rasio SNR digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon dengan memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Penggunaan SNR juga dilakukan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Rasio SNR terdiri dari beberapa karakteristik kualitas, yaitu:

1) Semakin kecil semakin baik (*smaller is better*)

Karakteristik kualitas ini memiliki batas nilai 0 dan nonnegatif. Nilai semakin kecil (mendekati nol adalah yang diinginkan). Rumus SNR pada karakteristik kualitas ini adalah sebagai berikut:

$$\text{kerugian} = k [\text{MSD}] = \left(k \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Atau

$$\eta = 10 \log_{10} [\text{MSD}]$$

$$= -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$= 10 \log_{10} (a^2 + y^{-2})$$

Dimana:

MSD = *mean square deviation*

η = SNR

2) Tertuju pada nilai tertentu (*nominal is the best*)

Karakteristik kualitas ini memiliki nilai atau target tidak nol dan terbatas. Dengan kata lain nilai yang mendekati suatu nilai yang ditentukan adalah yang terbaik. Rumus SNR pada karakteristik kualitas ini adalah:

$$SNR = \eta = 10 \log_{10} \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan rata-rata

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\sigma^2 = s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \mu)^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

- Y_i = hasil percobaan pada replikasi 1,2, dan 3
- n = jumlah replikasi

3) Semakin besar semakin baik (*larger is better*)

Karakteristik kualitas ini memiliki rentang nilai tak terbatas dan nonnegative. Nilai semakin besar adalah yang semakin diinginkan.

Rumus SNR pada karakteristik kualitas ini adalah:

$$SNR = \eta = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

Kinerja yang baik diukur dengan tingginya rasio SNR, berakibatkan kerugian lebih kecil daripada yang diukur dengan fungsi kerugian yang sesuai.

4. Interpretasi Hasil Eksperimen

Interprestasi hasil eksperimen dilakukan dengan menghitung persen kontribusi dan interval kepercayaan.

a. Persen kontribusi

Persen kontribusi merupakan porsi masing-masing faktor dan satu interaksi fakta yang signifikan terhadap total variansi yang diamati. Persen kontribusi merupakan fungsi dari jumlah kuadrat (Sq) dari masing-masing yang signifikan, yang merupakan indikasi kekuatan relatif dalam, mereduksi variansi. Semakin besar persen kontribusi suatu faktor, semakin signifikan pengaruhnya dalam mereduksi variansi. Pada analisis varians, nilai Mq untuk suatu faktor (misalnya faktor A) sebenarnya adalah:

$$MqA = Mq'A + MSe$$

$$MqA = \frac{SqA}{vA} \dots \dots \dots (2.10)$$

Maka: $SqA' = SqA - (vA) \cdot (MqA)$

Persen kontribusinya adalah: $p = \frac{SqA'}{St} \times 100\% \dots \dots \dots (2.11)$

b. Interval kepercayaan

Interval kepercayaan (*Confidence Interval*: CI) dalam analisis hasil eksperimen metode Taguchi dihitung dalam 3 kondisi. Yaitu interval kepercayaan untuk *level* faktor (CI_1), interval kepercayaan pada kondisi perlakuan yang diprediksi (CI_2), dan interval kepercayaan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi (CI_3). Namun yang lebih sering dipakai di antara ketiganya adalah (CI_2) DAN (CI_3).

1) Interval kepercayaan untuk *level* faktor (CI_1)

$$CI_1 \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;ve} \cdot Mse}{n}} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\mu_{Ak} = \bar{A}_k \pm CI_1 \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\bar{A}_k - CI_1 \leq \mu_{AK} \leq \bar{A}_K = CI_1$$

Dimana:

$F_{\alpha;1;ve}$ = rasio F

α = resiko

V_1 = 1

V_e = derajat kebebasan *error*

MSe = rata-rata *error* (variansi kesalahan)

n = jumlah yang diuji pada suatu kondisi tersebut

μ_{Ak} = dugaan rata-rata faktor A pada perlakuan (*level*) ke K

\bar{A}_k = rata-rata faktor A pada perlakuan ke K

K = 1,2,...

2) Interval kepercayaan pada kondisi perlakuan yang diprediksi (CI_2)

$$CI_1 \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;ve} \cdot Mse}{n_{eff}}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + (\text{jumlah dof yang berhubungan dengan estimasi A})}$$

N = jumlah data percobaan keseluruhan

3) Interval kepercayaan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi (CI_3)

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;v_e} \cdot Mse \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

R = jumlah sampel pada percobaan konfirmasi dan $r \neq 0$

V_e = derajat bebas varian *error*

n_{eff} = jumlah pengulangan efektif



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di CV. Micro Enterprises General Industrial And Supplier Jl. Pelita I No.1 A Medan, Jl Asem Link XIII, Desa Bandar Klippa Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang. Tempat ini dipilih karena cukup merepresentatif untuk kebutuhan pemenuhan dalam penulisan tugas akhir ini.

3.1.2. waktu

Analisa ini dimulai sejak judul tugas akhir ini disetujui oleh kedua pembimbing. Kemudian waktu yang akan digunakan dari persiapan penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat pada tabel 3.1. sebagai berikut:

Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian

Aktifitas	2024															
	Bulan V				Bulan VI				Bulan VII				Bulan VIII			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■	■														
Penulisan Proposal			■	■												
Seminar Proposal					■											
Proses Penelitian						■	■	■								
Pengolahan Data									■	■	■	■				
Penyelesaian													■	■	■	■
Laporan																
Seminar Hasil																
Evaluasi dan persiapan Sidang																
Sidang Sarjana																

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Biji Plastik (*PolyPropylene*).

Plastik PP (*PolyPropylene*) adalah salah satu jenis plastik yang berwarna bening atau transparan. Plastik ini dibuat dari monomer *propylene* yang banyak diproduksi di seluruh dunia yang umumnya banyak digunakan untuk pengemasan makanan. Kepopuleran plastik ini dikarenakan bahannya yang tidak beracun sehingga aman dimanfaatkan untuk pengemasan produk konsumsi. Selain itu, plastik PP (*polypropylene*) juga memiliki fleksibilitas yang membuatnya mudah diolah menjadi berbagai macam bentuk sesuai dengan kebutuhan. Karakteristik plastik PP dapat dikenali dengan menyentuh permukaannya. Jenis plastik ini memiliki permukaan cenderung lebih licin. Meski memiliki daya tahan yang lebih tinggi dibanding plastik PE, harga plastik PP lebih murah. Dari segi bahan, plastik PP (*polypropylene*) mampu menahan lebih baik dari plastik PE. Plastik PP memiliki ketahanan pada suhu tinggi yang jauh lebih baik dibandingkan dari plastik PE. Sehingga plastik PP (*polypropylene*) cenderung memiliki jangka waktu yang lebih lama.

Oleh karenanya, plastik PP menjadi plastik yang efektif bagi produsen untuk usahanya. Bagi Anda yang memiliki usaha makanan beku (*non-vacum*), plastik PP (*polypropylene*) dapat menjadi solusi. Permeabilitas pada plastik PP lebih kecil terhadap air daripada jenis plastik lain. Sehingga plastik PP (*polypropylene*) memiliki kemungkinan lebih kecil untuk dapat ditembus uap air yang akan merusak makanan.

Dengan semua kelebihan inilah yang membuat plastik PP menjadi jawaban bagi kemasan produk usaha Anda. Bukan hanya untuk kemasan makanan, plastik PP bahkan juga dapat digunakan untuk komponen kelistrikan, tekstil, otomotif, hingga alat-alat medis. Untuk penelitian kali ini kita menggunakan produk biji plastic PP (*polypropylene*) murni natural tanpa daur ulang. Contoh biji plastik PP (*polypropylene*) ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1. Biji Plastik *Polypropylene*

b) Karbon aktif.

Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini bisa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut.

Hanya dengan satu gram dari karbon aktif akan didapatkan suatu material yang memiliki luas permukaan kira-kira sebesar 500 cm^2 (didapat dari pengukuran adsorpsi gas nitrogen). Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, tetapi beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri. Karbon aktif adalah karbon padat yang memiliki luas permukaan yang cukup tinggi berkisar antara 100 sampai dengan 2.000 g/cm^2 . Bahkan ada peneliti yang mengklaim luas permukaan karbon aktif yang dikembangkan memiliki luas permukaan melebihi 3.000 g/cm^2 .

Bisa dibayangkan dalam setiap gram zat ini mengandung luas permukaan puluhan kali luasan lapangan sepak bola.

Hal ini dikarenakan zat ini memiliki pori-pori yang sangat kompleks yang berkisar dari ukuran mikro dibawah 20 A (Angstrom), ukuran meso antara 20–50 A dan ukuran makro yang melebihi 500 A (pembagian ukuran pori berdasarkan IUPAC). Sehingga luas permukaan disini lebih dimaksudkan luas permukaan internal yang diakibatkan dari adanya pori-pori yang berukuran sangat kecil. Karena memiliki luas permukaan yang sangat besar, maka karbon aktif sangat cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan luas kontak yang besar seperti pada bidang adsorpsi (penyerapan), dan pada bidang reaksi dan katalisis.

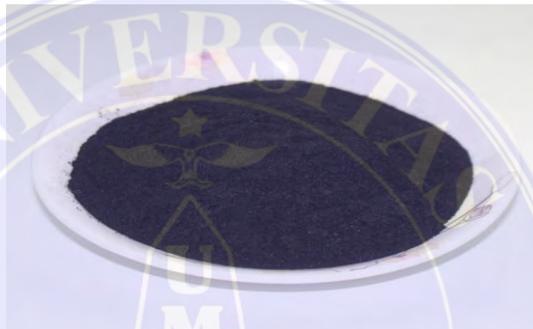
Contoh yang mudah dari karbon aktif adalah yang banyak dikenal dengan sebutan norit yang digunakan untuk mengatasi gangguan pencernaan. Prinsip kerja norit adalah ketika masuk kedalam perut dia akan mampu menjerat bahan-bahan racun dan berbahaya yang menyebabkan gangguan pencernaan. Kemudian menyimpannya di dalam permukaan porinya sehingga nantinya keluar nantinya bersama tinja. Secara umum karbon aktif ini dibuat dari bahan dasar batu bara dan biomasa. Dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2. Spesifikasi bahan yang digunakan

Nama	Spesifikasi
Iodine Value	Minimal 950 G
Moisture Content	Maksimal 5%
Total Ash Content	Maksimal 15%
Hardness	Minimal 95%
Ukuran	8 X 30 Cm
Luas Area	1050 G/Cm
Methylene Blue Number	280 G

Nama	Spesifikasi
Total Volume Pori – Pori	1.04 G/Cm ³
Water Soluble Ash	0.2 %
Apparent Density	48000 G/Cm ³
PH	8-11

Intinya bahan dasar pembuat karbon aktif haruslah mengandung unsur karbon yang besar. Berikut di bawah ini gambar 3.2 yang menggambarkan karbon aktif yang sudah dihaluskan:



Gambar 3.2. Karbon Aktif

3.2.2. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam melakukan proses penelitian diantaranya yaitu:

a) Mesin Pencacah

Mesin pencacah ini digunakan untuk mencacah polimer komposit ke bentuk serpihan dan ukuran yang lebih kecil/serbuk partikel. Mesin pencacah yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Mesin Pencacah

b) *Stopwatch*

Stopwatch adalah alat digunakan untuk menghitung waktu, yakni waktu pencacahan komposit dengan berbagai variasi rpm. Stopwatch pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. *Stopwatch*

c) Wadah Penampung

Wadah ini digunakan sebagai penampung bahan atau hasil cacahan untuk langkah selanjutnya pada proses penimbangan, dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Wadah Penampung

d) Timbangan

Spesifikasi timbangan yang digunakan dalam proses penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.6. dan tabel 3.3.



Gambar 3.6. Timbangan

Tabel 3.3. Spesifikasi timbangan yang digunakan dalam penelitian

NO	Nama	Spesifikasi
1.	Merk	Cat
2.	Type	Sw – 1a
3.	Capacity	6 kg
4.	Ketelitian	0.2
5.	Resolution	1/30.000
6.	Display type	Lcd backlight
7.	Operating temperature	-10 c ~ 40 c
8.	Power	Dc9v adaptor
9.	Batteray life dry	Alkaline 800 hrs, min
10.	Platter (mm)	230 (w) x 190 (d)
11.	Dimension (mm)	260 (w) x 287 (d) x 137 (h)

e) Ayakan

Pada penelitian ini hasil cacahan disaring menggunakan ayakan dengan ukuran mesh 38,53 dan 90 μm untuk menghasilkan cacahan yang diinginkan yaitu serbuk atau partikel gambar ayakan dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Ayakan

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil pada proses pencacah agar mendapatkan nilai ukuran partikel dengan variasi bahan komposit yaitu 70% PP + 30% KA, 80% PP + 20% KA, 90% PP + 10% KA, dan variasi ukuran *mesh* 38, 53, 90 μm , sehingga hasil yang didapat di analisis menggunakan metode Taguchi dan mengumpulkan data melalui *Software* minitab.

3.4 Prosedur Kerja

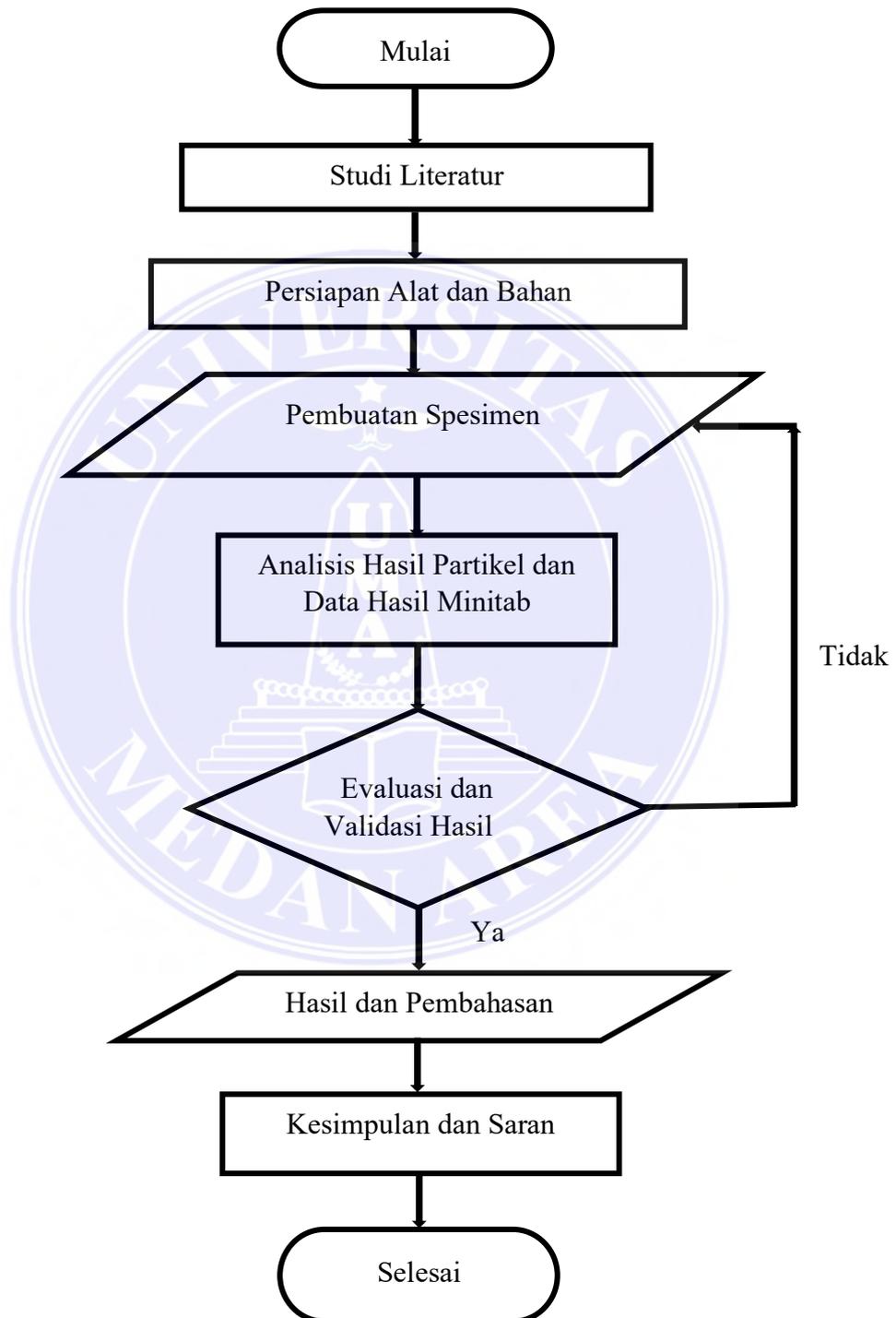
Berikut adalah langkah-langkah melakukan prosedur kerja pada proses mesin pencacah polimer untuk mendapatkan hasil cacahan ukuran partikel sebagai berikut:

1. Langkah pertama pada penelitian ini yaitu untuk mendapatkan bahan cacahan dilakukan pencampuran bahan polypropylene dan karbon aktif pada mesin internal mixer dengan variasi yaitu 70% PP + 30% KA, 80% PP + 20% KA dan 90% PP + 10% KA.
2. Setelah itu, persiapkan bahan dan alat yang akan digunakan pada penelitian ini seperti mesin pencacah, timbangan digital (Sw -1a), stopwatch dan wadah penampung hasil cacahan
3. Selanjutnya, timbang bahan yang akan dicacah sesuai nilai yang telah ditentukan yaitu 180 kg pada sekali proses pencacahan
4. Kemudian hidupkan terlebih dahulu mesin pencacah yang digunakan dalam penelitian ini dan masukkan bahan polimer komposit kedalam mesin pencacah

5. Pada saat proses pencacahan gunakan stopwatch untuk mendapatkan berapa lama waktu pada sekali pencacahan dengan variasi bahan yang telah ditentukan.
6. Pada saat dilakukan pencacahan siapkan wadah penampung dibawah corong *output* mesin pencacah.
7. Setelah dicacah pada mesin dan bahan masuk kedalam wadah penampung, lakukan pengulangan pencacahan pada variasi bahan yang telah ditentukan.
8. Setelah semua bahan telah dicacah pada mesin pencacah, secara otomatis bahan cacahan masuk kedalam wadah penampung yang telah disiapkan dan matikan mesin pencacah setelah selesai proses pencacahan.
9. Kemudian, masukkan bahan hasil cacahan kedalam penyaring/ayakan dengan ukuran mesh yaitu 38, 53 dan 90 mm.
10. Selanjutnya lakukan pengayakan dengan ukuran mesh yang telah ditentukan, setelah dilakukan pengayakan secara bertahap. Kemudian pisahkan hasil ayakan pada setiap mesh yang telah ditentukan pada tempat yang telah dipersiapkan.
11. Setelah itu, timbang hasil pengayakan dengan menggunakan timbangan digital dan catat hasil timbangan, kemudian lakukan pengolahan data

3.5. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada pelaksanaan penelitian tugas akhir dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut ini :



Gambar 3.8. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada mesin pencacah polimer komposit skala laboratorium dengan campuran bahan 90PP+10% KA, 80PP+20% KA dan 70PP+30 KA dengan variabel bahan, mesh dan waktu. Menggunakan metode Taguchi maka didapat kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Pada hasil partikel pengaruh saringan/ayakan yaitu terdapat hasil yang dapat tersaring dan tidak tersaring sehingga didapat hasil kahalusan pada mesin pencacah polimer komposit skala laboratorium yaitu pada bahan 90% PP + 10% KA dengan penyaringan mesh 53 μm sebesar 0.627 gram.
- 2) Pada proses penyaringan menggunakan mesh 38 μm , 53 μm dan 90 μm terdapat hasil cacahan yang tidak dapat disaring seperti pada bahan 90 PP + 10 KA dengan nilai 58.67 gram, bahan 80 PP + 20% KA terdapat nilai sebesar 58.836 gram dan pada bahan 70 PP + 30% KA didapat hasil sebesar 58.853 gram, sedangkan pada mesh 38 μm tidak mendapatkan nilai partikel pada bahan.
- 3) Pada waktu proses pencacahan yang dilakukan masing-masing selama 2 menit dengan ketiga bahan yang sudah ditentukan, maka yang banyak mendapatkan hasil dengan kategori halus yaitu pada bahan 90% PP + 10% KA dengan penyaringan mesh 53 μm sebesar 0.627 gram.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

- 1) Pada penelitian berikutnya agar komposisi bahan yang digunakan bisa divariasikan lagi agar perhitungan densitas dan kekuatan bahan bisa lebih akurat.
- 2) Pengujian agar lebih teliti pada saat mengecek komposisi bahan pada spesimen karna jika komposisi tidak sesuai maka akan mempengaruhi hasil dari pengujian.



DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Z. (2023). *Analisis Variasi Komposisi Komposit Polipropilana/Karbon Aktif* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Azhari, C., & Maulana, D. (2018). Perancangan mesin pencacah plastik tipe crusher kapasitas 50 kg/jam. *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, 13(2), 7-14.
- Cahyono, A. I., Qiram, I., & Rubiono, G. (2019). Pengaruh sudut kemiringan dan kecepatan putaran saringan pada unjuk kerja mesin pengayak pasir tipe rotary. *V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article)*, 4(1), 7-9.
- Kusnanto, A. L. (2017). Perancangan Mesin Pengayak Sisa Flux Pada Pengelasan SAW Menggunakan Dua Lantai Saringan Dengan Air Vibrator KApasitas 215 Kg/Jam (Doctoral dissertation, University of Muhammadiyah Malang).
- Laili, R. R. (2010). Laporan magang di PT. Mayafood Industries Pekalongan Jawa Tengah (proses pembuatan tepung ikan).
- Mayasari, A. I., Wuryandari, T., & Hoyyi, A. (2014). Optimalisasi Proses Produksi Yang Melibatkan Beberapa Faktor Dengan Level Yang Berbeda Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Gaussian*, 3(3), 303-312.
- Nayiroh, N. (2013). Teknologi material komposit. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim: Malang.
- Ningsih, E., Udyani, K., Budianto, A., Hamidah, N., & Afifa, S. (2020). Pengaruh ukuran partikel arang dari limbah tutup botol plastik terhadap kualitas briket. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 36(2), 101-108.
- Putra, A. P., Sujana, I., & Wicaksono, R. A. Karakterisasi Pengaruh Ukuran Mesh 10, 20 dan 30 terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Material Komposit Partikel Tandan Kosong Kelapa Sawit. *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 2(1), 19-26.
- Setiawan, A., Nilasari, A. R., & Ari, M. (2016). Analisis Sifat Mekanik Komposit Al 2075 Reinforcement Dengan Electroless Abu Dasar Batubara. *Journal of Research and Technology*, 2(2), 64-71.
- Suroso, B., & Rajali, R. (2019). Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 74-83.
- Syahputra, a. P. Studi ketahanan terhadap klorida dan sulfat pada beton campuran semen portland (opc) dengan semen ground granulated blast furnace slag (ggbfs).
- Triadi, N. Y., Martana, B., & Pradana, S. (2020). Perancangan Mesin Pencacah Plastik Tipe Shredder dan Alat Pemotong Tipe Reel. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(2), 144-153.

LAMPIRAN

1. Proses persiapan pengumpulan data pada mesin pencacah



2. Proses pengambilan data pengayakan di laboratorium terpadu USU

