PENERAPAN METODE TAGUCHI PADA HASIL PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUDER FILAMEN BERBAHAN SAMPAH PLASTIK BERBENTUK SILINDER

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Satu Syarat Dalam Rangka Penyelesaian Studi
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Industri

Oleh :
UMBARA BAGUS AHMAD PAUZI
NPM. 6320600020

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PANCASAKTI

2024

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI

Skripsi yang berjudul "PENERAPAN METODE TAGUCHI PADA HASIL PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUDER FILAMEN BERBAHAN SAMPAH PLASTIK BERBENTUK SILINDER"

NAMA PENULIS : UMBARA BAGUS AHMAD PAUZI

NPM : 6320600020

Telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk dipertahankan dihadapan dewan sidang penguji skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.

Hari : Senin,

Tanggal : 9 Desember 2024

Pembimbing I	Pembimbing II
(Saufik Luthfianto, ST.,MT.)	(M. Agus Shidiq, ST., MT.)
NIPY. 18752531981	NIPY. 2056211978

HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal

Pada hari : Rabu

Tanggal : 18. Desember 2024.

Ketua Penguji :

(Dr. Agus Wibowo, ST.,MT.)
NIPY. 1265181019721
Penguji Utama : .....

(Ir. Hj. Zulfah, M.M)
NIPY. 68531051964
Penguji 1 .....

(Saufik Luthfianto, ST.,MT.)
NIPY. 18752531981
Penguji 2 .....

(M. Agus Shidiq, ST., MT.)
NIPY. 2056211978 .....

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

YAYASAN PENDIDIKAN PANCASAKTI UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

(Dr. Agus Wibowo,ST.,M.T)
NIPY. 126518101972

HALAMAN PERNYATAAN

Dalam penulisan skripsi ini, saya menyatakan tidak melakukan plagiarisme skripsi yang berjudul "PENERAPAN METODE TAGUCHI PADA HASIL PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUDER FILAMEN BERBAHAN SAMPAH PLASTIK BERBENTUK SILINDER" ini sepenuhnya merupakan hasil karya saya sendiri, atau jika terdapat kutipan, telah dilakukan sesuai dengan aturan dan etika keilmuan yang berlaku.

Pernyataan ini dibuat sebagai pedoman bagi pihak yang berkepentingan, dan saya bersedia menerima segala konsekuensi serta sanksi apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya tulis ini atau adanya klaim hak atas karya ini.

Tegal, 18 Desember 2024

Umbara Bagus Ahmad Pauzi
NPM. 6320600020

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Maka sesungguhya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhan mu lah engkau berharap. (Q.S AL-Insyirah, 6-8).
2. Orang lain gak akan bisa paham struggle dan masa sulitnya kita, yang mereka ingin tahu hanya bagian success storiesnya. Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun gak ada yang tepuk tangan, kelak diri kita di masa depan akan sangat bangga denga napa yang kita perjuangkan hari ini. (Fardi Yandi)
3. Someday you`ll find that you are brighter than the star.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta, yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, dan menjadi sumber inspirasi dalam setiap langkah perjalanan saya.
2. Keluarga dan saudara-saudara saya, yang selalu memberikan semangat, cinta, dan kehangatan.
3. Dosen pembimbing dan pengajar, yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan arahan selama proses penulisan skripsi ini.
4. Teman-teman seperjuangan, yang selalu hadir dengan dukungan, tawa, dan motivasi di setiap momen.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi yang berjudul "Penerpan Metode Taguchi Pada Pengembangan Mesin Ekstruder Filamen Berbahan Sampah Plastik Silinder" ini dengan baik. Naskah skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan program studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Pancasakti Tegal.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah menerima banyak bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST., MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
2. Bapak Saufik Luthfianto, ST., MT. Selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak M. Agus Shidiq, ST., MT. Selaku Dosen Pembimbing II.
4. Segenap Dosen dan Staf Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
5. Bapak dan Ibuku yang selalu mendoakanku dan restu yang tiada henti.
6. Teman-teman seperjuangan, baik di kampus maupun di luar kampus, yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, serta pengalaman berharga selama masa perkuliahan.

7. Semua pihak yang turut membantu dalam penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Terima kasih atas partisipasi dan kontribusi yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa naskah skripsi ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif untuk meningkatkan kualitas naskah skripsi ini. Semoga naskah skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di masa depan.

Tegal, Desember 2024

Umbara Bagus Ahmad Pauzi

ABSTRAK

Umbara Bagus Ahmad Pauzi, 2024 **"Penerapan Metode Taguchi Pada Hasil Pengembangan Mesin Ektruder Berbahan Sampah Plastik Berbentuk Silinder"** Laporan Skripsi Teknik Industri Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal 2024.

Pencemaran lingkungan masih menjadi isu utama yang belum terselesaikan, dengan tumpukan sampah plastik sebagai salah satu penyebab utama kerusakan kesehatan dan lingkungan. Teknologi ekstrusi merupakan proses pembentukan material dengan memanaskannya hingga meleleh, lalu mengalirkannya melalui cetakan menggunakan screw untuk menghasilkan material berbentuk silinder. Dalam penggunaan 3D printer, filamen plastik sebagai material utama memungkinkan pencetakan prototipe, sekaligus menawarkan solusi untuk pengolahan sampah plastik. Teknologi ini tidak hanya membantu mengurangi pencemaran lingkungan tetapi juga membuka peluang inovasi di industri kreatif dengan mengubah barang tak terpakai menjadi produk bernilai tinggi. Pengembangan mesin ekstruder bertujuan untuk meningkatkan kualitas filamen yang dihasilkan, rencananya adalah dengan dengan menambahkan mekanisme pemanas, sehingga ukurannya menjadi lebih seragam menggunkan metode taguhci. Konsep taguchi adalah sebuah pendekatan rekayasa kualitas yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk sambil menekan biaya dan sumber daya yang digunakan seefisien mungkin. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen orthogonal array L9 ($3^{\wedge}2$), terdapat 9 percobaan dan 2 parameter proses yaitu temperature barel (160°C, 170°C, 180°C) dan temperature *nozzle* (230°C,240°C,240°C) dengan respon nominal is best menggunakan software minitab. Hasil eksperimen ini menghasilkan nilai *P-value* sebesar 0,010 ($p<0,05$), maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara desain sebelum dan sesudah eksperimen dengan perbedaan rata-rata antara sebelum dan sesudah eksperimen adalah sebesar 0,249 yang menunjukan terjadinya peningkatan kualitas produk filamen sebesar 24,9%.

Kata kunci : Sampah Plastik, Mesin Ekstruder, Metode Taguchi

ABSTRACT

Umbara Bagus Ahmad Pauzi, 2024 **“Application of the Taguchi Method in the Development of an Extruder Machine Made from Cylindrical Plastic Waste”** Bachelor's Thesis, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering and Computer Science, Pancasakti University Tegal, 2024.

Environmental pollution remains a major unresolved issue, with plastic waste being one of the primary causes of health and environmental damage. Extrusion technology is a material forming process where the material is heated until it melts and then flows through a mold using a screw to produce cylindrical-shaped material. In 3D printing, plastic filament is used as the primary material for prototyping, offering a solution for plastic waste processing. This technology not only helps reduce environmental pollution but also opens up innovation opportunities in the creative industry by transforming unused items into high-value products. The development of the extruder machine aims to improve the quality of the filament produced, by adding a heating mechanism to achieve more uniform size using the Taguchi method. The Taguchi concept is a quality engineering approach aimed at improving product quality while minimizing costs and resources used as efficiently as possible. This study uses an L9 (3^2) orthogonal array experimental design, with 9 trials and 2 process parameters: barrel temperature (160°C, 170°C, 180°C) and nozzle temperature (230°C, 240°C, 240°C), with the response "nominal is best," analyzed using Minitab software. The results of this experiment produced a P-value of 0.010 ($p<0.05$), so it can be concluded that there is a significant difference between the designs before and after the experiment with the average difference between before and after the experiment being 0.249 which shows an increase in quality. filament products amounted to 24.9%.

Keywords: Plastic Waste, Extruder Machine, Taguchi Method

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI 1

HALAMAN PENGESAHAN 2

HALAMAN PERNYATAAN 3

MOTTO DAN PERSEMBAHAN 4

PRAKATA 5

ABSTRAK 7

ABSTRACT 8

BAB I 12

PENDAHULUAN 13

A. Latar Belakang 13

B. Batasan Masalah..... 16

C. Rumusan Masalah 16

D. Tujuan dan Manfaat 16

E. Sistematika Penulisan 17

BAB II19

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA 19

A. Landasan Teori..... 19

B. Tinjauan Pustaka 60

BAB III 63

METODOLOGI PENELITIAN 63

A. Metode Penelitian..... 63

B. Tempat dan Waktu Penelitian 66

C. Alat dan Bahan 67

D. Variabel Penelitian 75

E. Metode Pengumpulan Data 77

F. Metode Analisis Data 78

G. Diagram Alur Penelitian 83

BAB IV **Error! Bookmark not defined.**

HASIL DAN PEMBAHASAN **Error! Bookmark not defined.**

A. Hasil Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**

B. Pembahasan ..... **Error! Bookmark not defined.**

BAB V **Error! Bookmark not defined.**

A. Kesimpulan ..... **Error! Bookmark not defined.**

B. Saran ..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1Jenis Plastik PETE 21
Gambar 2. 2 Jenis Plastik HDPE 22
Gambar 2. 3 Jenis Plastik V 22
Gambar 2. 4 Jenis Plastik LDPE 22
Gambar 2. 5 Jenis Plastik PP 23
Gambar 2. 6 Jenis Plastik PS 23
Gambar 2. 7 Jenis Plastik Other 23
Gambar 2. 8 Karakter Nominal the best 45
Gambar 2. 9 Karakteristik smaller the better 46
Gambar 2. 10 Karakteristik larger the better 47
Gambar 3. 1 Alat Ekstruder Filamen 68
Gambar 3. 2 Mesin Bor 68
Gambar 3. 3 Mesin Las 68
Gambar 3. 4 Kikir 69
Gambar 3. 5 Tang 69
Gambar 3. 6 Obeng 69
Gambar 3. 7 Penggaris 70
Gambar 3. 8 Spidol 70
Gambar 3. 9 Heater Band 71
Gambar 3. 10 PID Rex C100 71
Gambar 3. 11 Mur dan Baut 71
Gambar 3. 12 Kawat Las 72
Gambar 3. 13 Gerinda 72
Gambar 3. 14 Kipas DC 72
Gambar 3. 15 Roll Gulungan 73
Gambar 3. 16 Dinamo Generator 73
Gambar 3. 17 Cat Hitam 73
Gambar 3. 18 Mata Bor 74
Gambar 3. 19 Diagram alur penelitian 84
Gambar 4. 2 Respon Grafik Untuk Rata – Rata Pada Nilai Temperatur **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 4. 3 Respon grafik unutk SNR pada nilai temperatur **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Temperaturi Leleh Prosesi Termoplastik 24
Tabel 2. 2 Orthogonal Array L8 (2^7) 51
Tabel 2. 3 Anova Two Way 56
Tabel 2. 4 Tinjauan Pustaka 61
Tabel 3. 2 Jadwal Kegiatan Penelitian 67
Tabel 3. 3 Variabel Bebas 76
Tabel 3. 4 Orthogonal Array L9 (3^2) 79
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengamatan **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 2 Faktor dan level taguchi **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 3 Uji normalitas diameter filamen **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 4 Uji homogenitas parameter **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 5 Pengujian diameter filamen **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 6 Respon nilai rata – rata temperatur **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 7 Respon untuk nilai SNR pada nilai temperatur **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 8 Analysis of variance (mean) **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 9 Analysis of variance (SNR) **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 10 Setting level optimal **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 11 Hasil eksperimen konfirmasi **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 4. 12 uji t antara desain sebelum dan sesudah rancangan **Error! Bookmark not defined.**

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran pada lingkungan masih merupakan masalah yang sebagian besar belum terselesaikan hingga saat ini, menjadikannya fokus utama dari upaya penanggulangan. Ini dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan dan kesehatan manusia jika sampel plastik tidak disimpan dengan benar. Sampah plastik memiliki karakteristik unik karena terbuat dari bahan organik yang memerlukan waktu sangat lama untuk terkontaminasi oleh bakteri yang menyebabkan tanah mengalami kerusakan (Teguh Prakoso et al., 2022). Berdasarkan data statistik mengenai sampah domestik di Indonesia, limbah plastik menempati posisi kedua dengan jumlah 5,4 juta ton per tahun, yang setara dengan 14 persen dari total produksi sampah. Hal ini menunjukkan bahwa plastik telah menggantikan posisi sampah kertas, yang sebelumnya berada di peringkat kedua, menjadi peringkat ketiga dengan total 3,6 juta ton per tahun atau sekitar 9 persen dari keseluruhan sampah yang dihasilkan. Sementara itu, laporan dari Environmental Protection Agency (EPA) Amerika Serikat mengungkapkan bahwa di negara tersebut, produksi sampah plastik mengalami peningkatan signifikan, dari kurang dari satu persen pada tahun 1960 menjadi 12 persen atau sekitar 30 juta ton pada tahun 2008 dari total sampah domestik yang dihasilkan.

Sebagian besar sampah plastik berasal dari kemasan dan wadah, seperti botol minuman, tutup botol, botol sampo, dan sejenisnya. Selain itu, limbah plastik juga ditemukan pada barang-barang yang digunakan dalam jangka panjang, seperti peralatan dan furnitur, serta produk plastik sekali pakai, seperti kantong plastik, gelas sekali pakai, peralatan makan, dan perlengkapan medis. Sampah plastik memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap manusia dan lingkungan. Jika tidak dikelola dengan baik, sampah plastik dapat merusak lingkungan secara serius. Salah satu metode yang efektif untuk menangani limbah plastik adalah melalui proses daur ulang, yang dapat mengubahnya menjadi berbagai produk baru. **(Prakoso, 2022).** Salah satu metode yang menjanjikan untuk mendaur ulang limbah plastik adalah dengan memanfaatkan mesin ekstruder dalam pembuatan filamen untuk 3D printing. Teknologi ekstrusi bekerja dengan memanaskan material hingga mencapai titik lelehnya. Setelah itu, material cair tersebut didorong melalui cetakan menggunakan screw, sehingga terbentuk material berbentuk silinder yang mengikuti desain lubang cetakan. (Martana et al., 2020). Teknologi ekstruder mampu membentuk berbagai macam objek, termasuk di bidang medis. Pada penggunaan printer 3D, filamen plastik digunakan sebagai bahan utama untuk mencetak prototipe (Luthfianto et al., 2023). Mesin ekstruder sering dimanfaatkan untuk menghasilkan produk plastik yang berbentuk panjang dan sederhana, seperti pipa, sedotan, selang plastik, serta filamen untuk printer 3D.

Saat ini, metode ekstrusi banyak digunakan dalam industri manufaktur plastik, bahkan beberapa industri rumahan juga mengandalkan mesin ekstruder

sebagai alat produksi utama mereka (Andhy Rinanto, 2021). Metode ini populer untuk memproduksi produk plastik sederhana karena biaya yang efektif dan tingkat produksi yang tinggi. Hal ini penting mengingat plastik adalah bahan yang dapat didaur ulang secara berkelanjutan. Penerapan teknologi printer 3D dalam pengolahan limbah plastik dapat membantu mengurangi polusi lingkungan serta membuka peluang bagi industri kreatif untuk berinovasi dan secara efisien mengubah barang bekas menjadi produk bernilai tinggi. Namun, penggunaan filamen dari plastik daur ulang harus mempertimbangkan kualitas hasil cetak yang dihasilkan. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi kualitas filamen yang dibuat dari plastik silinder daur ulang. Berdasarkan pertimbangan ini, mesin ekstruder filamen dikembangkan di laboratorium Universitas Pancasakti Tegal dengan memanfaatkan limbah plastik berbentuk silinder sebagai bahan dasar.

Mesin ini memiliki beberapa keunggulan, seperti portabilitas, konsumsi daya yang rendah, dan desain yang ringkas. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan mesin ekstruder yang mampu menghasilkan filamen berkualitas tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai salah satu cara untuk mengolah limbah plastik. Namun, kinerja mesin ini masih terkendala oleh beberapa kekurangan, seperti proses pemanasan yang kurang optimal, ketidakseragaman diameter filamen yang dihasilkan, serta tidak adanya mekanisme penggulungan filamen yang keluar dari nozzle mesin ekstruder. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut menggunakan metode Taguchi untuk menyempurnakan kinerja mesin tersebut. Diharapkan pengembangan ini dapat meningkatkan

performa alat yang sudah ada dan membantu mengurangi jumlah limbah plastik berbentuk silinder. Atas dasar tersebut, penulis mengangkat judul **"Penerapan Metode Taguchi Pada Hasil Pengembangan Mesin Ekstruder Filamen Berbahan Sampah Plastik Berbentuk Silinder"**.

B. Batasan Masalah

Untuk memastikan hasil penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan dan mempertimbangkan keterbatasan penulis dalam pelaksanaannya, ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Jenis bahan yang digunakan adalah sampah plastik berbentuk silinder.
2. Penelitian hanya berfokus pada pengembangan mekanisme mesin ekstruder filamen.
3. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode Taguchi.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan informasi yang telah dijelaskan sebelumnya, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mekanisme yang dapat dikembangkan untuk meningkatan pemanas filamen agar dapat menghasilkan filamen dengan ukuran yang seragam?
2. Bagaimana peningkatan kualitas filamen melalui proses eksperimen dengan menggunakan metode taguchi?

D. Tujuan dan Manfaat

1. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah disampaikan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah :

a). Untuk meningkatkan kualitas filamen yang dihasilkan, rencananya adalah dengan mengembangkan mesin eksruder filamen. Hal ini akan dilakukan dengan menambahkan mekanisme pemanas, sehingga ukurannya menjadi lebih seragam.

b). Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh informasi tentang kualitas filamen setelah pengembangan mesin ekstruder dengan menerapkan metode Taguchi.

2. Manfaat Penelitian

Berikut beberapa manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

a). Dengan dilakukannya penelitian ini, mahasiswa dapat mengasah keterampilan mereka dan meningkatkan kemampuan akademisnya.

b). Mahasiswa dapat meningkatkan keterampilan kerja, termasuk keterampilan komunikasi, pemecahan masalah, pemodelan matematika, serta pemahaman tentang isu lingkungan berkelanjutan.

c). Penelitian mengenai pengembangan mesin extruder filamen dapat memberikan kontribusi dalam bidang kegiatan pembelajaran, seperti penggunaan mesin tersebut dalam praktikum.

E. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari:

BAB I : PENDAHULUAN

Bagian ini mencakup latar belakang dilaksanakannya penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II : LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Berisi berbagai teori yang relevan dengan topik penelitian, serta penjelasan yang diambil dari referensi buku dan hasil penelitian terkait.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan, bahan atau materi yang digunakan, objek penelitian, data yang diperlukan, serta metode analisis yang diterapkan. Selain itu, proses penelitian juga disajikan dalam bentuk flowchart.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisis data menggunakan metode yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Bab ini juga membahas analisis hasil perhitungan dari data yang telah dianalisis.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan yang diperoleh dari analisis data untuk menjawab rumusan masalah, serta saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Pengertian Plastik

Plastik sangat umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena proses pembuatannya dari bahan kimia relatif mudah dan penggunaannya yang praktis membuat plastik menjadi pilihan favorit banyak orang (Martana et al., 2020). Plastik material sintetis buatan manusia yang terbuat dari polimer, biasanya polietilen, polipropilen, PVC, nylon, atau poliester. Plastik digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi karena sifatnya yang ringan, tahan air, tahan lama, dan mudah dibentuk. Plastik sering digunakan untuk membuat kemasan, peralatan rumah tangga, mainan, perangkat elektronik, dan banyak lagi. Plastik merupakan senyawa kimia organik sintetis yang dihasilkan melalui proses polimerisasi dari unit berulang yang disebut monomer. Sebagian besar monomer yang digunakan dalam pembuatan plastik berasal dari hidrokarbon yang diperoleh dari bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Sifat plastis pada plastik memungkinkan material ini untuk dibentuk, diekstrusi, dan dicetak menjadi berbagai bentuk yang beragam (Gebremedhen & Mengistie, 2023).

Namun, plastik juga menjadi masalah lingkungan karena sulit terurai dan sering kali mencemari lingkungan jika tidak didaur ulang dengan benar. Plastik memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bahan lain, seperti kekuatan, ringan, fleksibel, tahan karat, tahan lama, mudah diwarnai, mudah

dibentuk, serta memiliki sifat isolator panas dan listrik yang baik. Namun, jika tidak dikelola dengan baik setelah digunakan, plastik dapat berdampak negatif pada lingkungan. Plastik membutuhkan waktu lama untuk terurai dan dapat mengurangi kesuburan tanah (Untoro Budi S, 2016).

Sampah seperti botol plastik menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan sehari-hari. Botol plastik umumnya digunakan sebagai kemasan minuman seperti air mineral, jus, dan minuman ringan, namun tidak cocok untuk minuman panas. Botol plastik bekas minuman termasuk jenis limbah yang dapat didaur ulang. Melalui proses daur ulang, botol plastik bekas ini dapat diubah menjadi berbagai produk kerajinan, seperti wadah pensil atau aksesori, tempat tisu, celengan, dan souvenir. (Okatama, 2016).

Plastik dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat fisik dan kimianya. Ada dua jenis plastik utama: termoplastik dan termoset. Termoplastik dapat meleleh dan dibentuk ulang berulang kali dengan pemanasan, sementara termoset mengalami reaksi kimia saat dipanaskan dan tidak dapat diubah bentuknya setelah mengeras. Sifat plastik, seperti kekuatan, kekerasan, dan ketahanan terhadap panas, ditentukan oleh jenis polimer dan aditif yang digunakan dalam pembuatannya. Beberapa plastik juga dapat didaur ulang, sementara yang lain sulit terurai dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Pengembangan teknologi plastik telah berkembang pesat seiring waktu, dengan inovasi dalam proses produksi, formulasi bahan, dan aplikasi. Plastik telah menjadi material

yang sangat penting dalam berbagai industri dan aplikasi, namun juga menimbulkan tantangan lingkungan yang perlu diatasi.

a). Jenis – jenis plastik

Beberapa jenis plastik yang umum meliputi:

1). **PETE (*Polyethylene Terephthalate*)**, Digunakan untuk botol minuman, botol saus, dan kemasan makanan. Dapat didaur ulang menjadi serat untuk tekstil atau botol plastik lainnya.

Gambar 2. 1Jenis Plastik PETE
(sumber : Kevin dkk., 2023)

2). **HDPE (*High-Density Polyethylene*)**, Digunakan untuk botol susu, botol sampo, pipa air, dan wadah makanan. HDPE mudah didaur ulang dan umumnya digunakan untuk produk-produk yang memerlukan kekuatan dan ketahanan terhadap kimia.

Gambar 2. 2 Jenis Plastik HDPE
(sumber : Kevin dkk., 2023)

3). **V (*Vinyl*)**, Biasanya merujuk pada PVC (Polyvinyl Chloride), yang digunakan untuk pipa, jendela, lantai, dan mainan. Beberapa jenis PVC mengandung bahan beracun dan tidak mudah didaur ulang.

Gambar 2. 3 Jenis Plastik V
(sumber : Kevin dkk., 2023)

4). **LDPE (*Low-Density Polyethylene*)**, Digunakan untuk kantong belanja, kantong plastik, dan wadah makanan.

Gambar 2. 4 Jenis Plastik LDPE
(sumber : Kevin dkk., 2023)

5). **PP (*Polypropylene*)**, Digunakan untuk botol obat, wadah makanan, dan peralatan rumah tangga. PP juga bisa didaur ulang.

Gambar 2. 5 Jenis Plastik PP
(sumber : Kevin dkk., 2023)

6). **PS (*Polystyrene*)**, Digunakan untuk styrofoam, wadah makanan sekali pakai, dan insulasi. PS sulit didaur ulang dan sering kali menjadi masalah lingkungan.

Gambar 2. 6 Jenis Plastik PS
(sumber : Kevin dkk., 2023)

7). ***Other***, Merujuk pada jenis plastik lain yang tidak termasuk dalam kategori yang telah disebutkan di atas, seperti Polycarbonate (PC), Polymethyl Methacrylate (PMMA), dan lain-lain. Plastik dalam kategori ini memiliki karakteristik yang berbeda.

Gambar 2. 7 Jenis Plastik Other
(sumber : Kevin dkk., 2023)

Setiap jenis plastik memiliki kegunaan dan karakteristik tertentu, serta dampak lingkungan yang berbeda - beda. Mendaur ulang plastik dan mengurangi pemakaian plastik sekali pakai merupakan langkah-langkah efektif untuk mengurangi dampak negatif plastik terhadap lingkungan. Penggunaan material plastik daur ulang PP sebagai filamen menunjukkan hasil optimal pada suhu 260 ℃ dan kecepatan cetak 20 mm/s (Pamasaria et al., 2020).

Tabel 2. 1 Temperatur Leleh Proses Termoplastik

Processing Temperature Rate		
Matrial	℃	°F
ABS	180 - 240	356 - 464
Acetal	185 - 225	365 - 437
Acrylic	180 - 250	356 - 482
Nylon	260 - 290	500 - 554
Poly Carbonat	280 - 310	536 - 590
LDPE	160 - 240	320 - 464
HDPE	200 - 280	392 - 536
PP	200 - 300	392 – 572
PS	180 - 260	356 – 500
PVC	160 - 180	320 – 365

(sumber : Kevin dkk., 2023)

2. Filamen

Filamen 3D adalah jenis plastik khusus yang disebut termoplastik yang biasa digunakan dalam mesin 3D printing. Dengan memanaskannya hingga suhu tertentu, termoplastik menjadi lentur. Sifat fleksibel ini memungkinkan printer membentuk filamen sesuai desain yang diinginkan sebelum akhirnya

mendingin dan mengeras (Parahdiba et al., 2022). Filamen adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan material dalam bentuk panjang dan tipis, mirip dengan benang. Dalam konteks pencetakan 3D, filamen merujuk pada bahan dasar yang digunakan dalam printer 3D untuk mencetak objek. Filamen ini biasanya terbuat dari plastik, seperti PLA atau ABS, meskipun ada juga filamen yang terbuat dari bahan lain seperti logam atau keramik. Karena filamen merupakan bahan dasar yang digunakan dalam pencetakan 3D, kualitas dan karakteristik filamen sangat mempengaruhi hasil akhir dari objek yang dicetak. Filamen yang berkualitas tinggi akan menghasilkan cetakan yang lebih baik dengan detail yang lebih halus dan kekuatan yang lebih baik. Berikut adalah penjelasan mengenai kelebihan dan kekurangan kedua jenis filamen tersebut :

1). ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*)

ABS merupakan bahan yang umum digunakan dalam pembuatan filamen untuk printer 3D. Material ini memiliki keunggulan dalam kestabilannya terhadap berbagai suhu serta ketahanannya terhadap bahan kimia. Namun, ABS juga memiliki beberapa kekurangan, seperti sifatnya yang tidak dapat terurai secara alami karena merupakan plastik sintetis. Selain itu, proses pencetakan dengan filamen ABS memerlukan suhu tinggi, yang berdampak pada konsumsi daya yang cukup besar.

2). PLA (*Polyactic Acid*)

PLA merupakan salah satu jenis filamen yang banyak digunakan karena berasal dari bahan alami dan dapat terurai di lingkungan. Dari segi harga, PLA relatif ekonomis serta membutuhkan daya rendah untuk proses pencairannya. Karena tidak memerlukan suhu tinggi saat pencetakan, penggunaan bantalan pada mesin tidak lagi diperlukan, dan risiko kebakaran pun lebih kecil. Namun, kelemahan utama PLA adalah ketahanannya terhadap suhu tinggi yang rendah, sehingga mudah meleleh ketika terkena panas ekstrem.

3. Ekstrusi / Ekstruder

Ekstruder termoplastik adalah perangkat yang digunakan dalam proses ekstrusi untuk mengubah bentuk potongan plastik dengan memanfaatkan suhu tinggi. Alat ini berfungsi untuk melelehkan limbah plastik sebelum dicetak ulang menggunakan *moulding*, sehingga dapat dibentuk kembali sesuai dengan kebutuhan (Sujana & Wicaksono, 2022). Proses ini sering digunakan dalam pembuatan berbagai produk plastik, logam, kertas, makanan, dan bahan lainnya. Ekstruder adalah mesin yang digunakan untuk melakukan proses ekstrusi merupakan metode pembentukan produk di mana material awal dimasukkan ke dalam cetakan (dies) dan didorong melalui lubang cetakan dengan tekanan mekanik atau hidrolik untuk mendapatkan bentuk yang

diinginkan (Setiawan et al., 2017). Mesin ini terdiri dari sekrup atau ulir yang berputar di dalam tabung yang dipanaskan. Material cair atau semi-cair dimasukkan ke dalam tabung, lalu sekrup berputar untuk mendorong material melalui cetakan atau die dengan profil yang diinginkan. Material yang keluar dari cetakan akan mendingin dan mengeras menjadi bentuk yang diinginkan.

Thermoplastic adalah jenis plastik yang akan melunak ketika dipanaskan dan mengeras kembali saat didinginkan. Proses ini dapat diulang berkali-kali, sehingga material ini dapat didaur ulang (Tondi Haqira, 2019). Dalam konteks pencetakan 3D, ekstruder digunakan untuk mencairkan filamen plastik dan mendorongnya melalui nozzle untuk membentuk objek lapisan demi lapisan. Proses ini disebut ekstrusi plastik, dan mesin yang digunakan disebut mesin ekstruder filamen. Bebrapa tahaapan dalam proses ekstrusi yaitu sebagai berikut :

a). Proses dimulai dengan memasukkan biji plastik atau potongan kecil plastik ke dalam hopper, di mana plastik tersebut didorong oleh sekrup menuju zona pemanasan (feeding zone) untuk dipanaskan dan dilelehkan.

b). Pemanasan biji plastik berlangsung di dalam barrel, yang berfungsi sebagai feeding zone. Setelah plastik meleleh, material tersebut dikeluarkan dari barrel melalui cetakan.

c). Dalam tahap pencetakan, plastik yang telah dilelehkan diekstrusi untuk membentuk produk dengan desain yang diinginkan.

Proses ini memungkinkan plastik diolah menjadi berbagai bentuk, termasuk filamen untuk printer 3D. Namun, mesin ekstruder yang digunakan untuk produksi filamen printer 3D umumnya masih dirancang untuk kebutuhan industri.

Dalam merancang mesin ekstruder, diperlukan data yang akurat. Beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan antara lain :

a). Pemilihan Motor Stepper

Motor stepper dipilih sebagai penggerak utama karena dapat menghasilkan torsi yang tinggi pada kecepatan rendah. Hal ini diperlukan agar sekrup dalam mesin dapat berputar secara optimal. Selain itu, motor stepper ideal untuk desain yang membutuhkan presisi tinggi serta kontrol kecepatan yang rendah (Kevin dkk., 2023).

$$P_{motor} = \tau_{total} \times \omega$$

Di mana :

P_{motor} = daya motor

τ_{total} = torsi motor (Nm)

ω = kecepatan (rad/s)

b). Daya *Heater band* untuk melelehkan plastik

Untuk mencairkan biji plastik, diperlukan elemen pemanas yang berfungsi memanaskan barrel. Jenis elemen pemanas yang digunakan adalah heater band. Jumlah heater band yang dibutuhkan ditentukan berdasarkan perhitungan daya yang diperlukan (Parahdiba et al., 2022).

P = V.I
Di mana :
P = daya (watt)
V = tegangan (volt)

I = arus listrik (A)

4. Kualitas Produk

Kualitas produk mengacu pada kemampuan suatu barang dalam memberikan nilai terbaik kepada pelanggan, baik dengan memenuhi harapan mereka maupun melebihi ekspektasi (Gita Cahyani, 2016). Menurut (Nurfauzi et al., 2023) kualitas produk ditentukan oleh kemampuannya

dalam menjalankan fungsi yang mencakup berbagai aspek, seperti kekuatan, kemudahan pengemasan, kemudahan perbaikan, keandalan, serta inovasi.

Kualitas produk dipengaruhi oleh berbagai faktor. Dalam era industri saat ini, perusahaan terus berupaya mempertahankan dan meningkatkan kualitas produk mereka guna memperkuat daya saing di pasar. Beberapa faktor yang memengaruhi kualitas produk antara lain :

a). Bahan Baku

Kualitas bahan baku yang digunakan akan berdampak langsung pada hasil akhir produk.

b). Proses Produksi

Proses yang tidak sesuai standar dapat menurunkan kualitas produk.

c). Desain Produk

Desain yang baik mempertimbangkan fungsionalitas, estetika, dan efisiensi.

d). Teknologi dan Peralatan

Teknologi modern cenderung meningkatkan akurasi dan konsistensi produk.

e). Sumber Daya Manusia

Kompetensi pekerja sangat memengaruhi kualitas hasil produksi.

f). Lingkungan Kerja

Kondisi kerja yang baik mendukung kualitas produk yang lebih tinggi.

g). Pengujian dan Kontrol Kualitas

Pengujian selama dan setelah proses produksi untuk memastikan produk sesuai standar.

Kondisi ini mendorong perusahaan untuk terus berinovasi, karena konsumen kini semakin cermat dalam menilai kualitas produk sebelum membeli (Cesariana et al., 2022). Berbagai sektor industri mengandalkan karakteristik produk dan proses produksinya, yang meliputi aspek-aspek berikut :

a). Market (Pasar)

Pasar merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan produk. Analisis kebutuhan dan preferensi pelanggan sangat penting untuk menciptakan produk yang sesuai dengan permintaan, serta memperkuat posisi perusahaan di pasar.

b). Money (Keuangan)

Keuangan adalah sumber daya utama untuk menjalankan operasi bisnis. Pengelolaan anggaran yang efektif sangat penting untuk memastikan investasi dalam bahan baku, teknologi, dan tenaga kerja dapat meningkatkan kualitas produk secara berkelanjutan.

c). Management (Manajemen)

Manajemen meliputi perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, serta pengawasan. Manajemen yang efektif memastikan setiap tahap dalam proses produksi berjalan sesuai standar, sehingga tujuan perusahaan dapat dicapai.

d). Men (Tenaga Kerja)

Sumber daya manusia adalah elemen kunci dalam proses produksi. Tenaga kerja yang terampil, termotivasi, dan terlatih dapat meningkatkan efisiensi, kreativitas, dan kualitas produk.

e). Motivation (Motivasi)

Motivasi berperan dalam meningkatkan semangat kerja karyawan. Lingkungan kerja yang positif, penghargaan, dan insentif yang memadai akan mendorong karyawan untuk memberikan yang terbaik.

f). Material (Bahan Baku)

Material atau bahan baku memengaruhi kualitas produk secara langsung. Pemilihan bahan baku yang berkualitas tinggi dan konsisten adalah dasar untuk menghasilkan produk yang memenuhi standar pelanggan.

Menurut (Cesariana et al., 2022). Terdapat sembilan indikator pada kualitas produk yaitu :

a). Bentuk

Meliputi ukuran, struktur fisik, serta wujud dari sebuah produk.

b). Fitur

Merupakan karakteristik tambahan yang melengkapi fungsi utama produk.

c). Kinerja

Mengacu pada efektivitas fitur utama produk dalam menjalankan fungsinya.

d). Kesan Kualitas

Terbentuk dari penilaian subjektif pengguna, terutama bagi mereka yang kurang memahami atau memiliki informasi terbatas mengenai produk.

e). Ketahanan

Menunjukkan daya tahan produk dalam jangka waktu tertentu, yang menjadi faktor penting bagi jenis produk tertentu.

f). Keandalan

Menunjukkan sejauh mana produk dapat berfungsi dengan baik tanpa mengalami gangguan atau kerusakan dalam periode tertentu.

g). Kemudahan Perbaikan

Menggambarkan seberapa praktis produk dapat diperbaiki jika mengalami kerusakan atau kegagalan fungsi.

h). Gaya

Mengacu pada tampilan visual produk yang dapat memengaruhi daya tarik konsumen.

i). Desain

Melibatkan keseluruhan aspek produk, termasuk estetika, kenyamanan, dan fungsi, yang dirancang untuk memenuhi ekspektasi pelanggan.

Produk berkualitas *(quality product)* adalah produk yang mampu memenuhi atau bahkan melampaui ekspektasi konsumen. Konsep ini dapat

diterapkan dalam berbagai cara, dengan kualitas yang terbagi ke dalam delapan dimensi utama yang mencirikan produk berkualitas tinggi, yaitu:

a). Kinerja (*Performance*)

Mengacu pada aspek fungsional suatu produk dan menjadi faktor utama yang dipertimbangkan pelanggan saat melakukan pembelian.

b). Fitur (*Features)*

Menunjukkan karakteristik tambahan yang melengkapi fungsi dasar produk, termasuk opsi dan pengembangannya.

c). Keandalan (*Reliability*)

Menilai sejauh mana produk dapat berfungsi dengan baik secara konsisten dalam periode dan kondisi tertentu.

d). Kesesuaian (*Conformance*)

Mengukur tingkat kepatuhan produk terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan sesuai dengan kebutuhan pelanggan.

e). Ketahanan (*Durability*)

Menunjukkan daya tahan serta umur ekonomis suatu produk dalam jangka waktu tertentu.

f). Kemudahan Perbaikan (*Serviceability*)

Mengacu pada kemudahan, kecepatan, akurasi, dan efisiensi dalam melakukan perbaikan atau perawatan produk.

g). Estetika (Aesthetics),

Merupakan faktor subjektif yang berkaitan dengan daya tarik visual dan desain produk, tergantung pada preferensi individu.

h). Kualitas yang Dirasakan (Perceived Quaity)

Mewakili persepsi konsumen terhadap kualitas produk, meskipun mereka mungkin tidak memiliki informasi lengkap mengenai atributnya (Nurfauzi et al., 2023).

Menurut (Sabilah et al., 2022) delapan dimensi mutu dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori manajemen mutu, yaitu :

a). Mutu Desain (Design Quality)

Mengacu pada kesesuaian spesifikasi desain produk dengan preferensi serta kebutuhan pelanggan. Kualitas desain mencerminkan karakteristik fungsional dan fisik produk yang dirancang untuk memenuhi harapan pengguna.

b). Mutu Kesesuaian (Conformance Quality)

Menunjukkan tingkat konsistensi suatu produk dalam memenuhi persyaratan atau standar mutu yang telah ditetapkan. Mutu kesesuaian sangat penting dalam proses produksi, di mana spesifikasi desain diterjemahkan ke dalam spesifikasi produksi untuk menghasilkan produk akhir yang sesuai dengan standar. Tujuan utama dari mutu kesesuaian adalah memastikan kepuasan pelanggan.

Biaya yang terkait dengan aspek ini dikenal sebagai biaya mutu (quality cost), yang mencakup beberapa kategori berikut:

a). Biaya Pencegahan

Biaya yang dikeluarkan untuk mencegah terjadinya kerusakan atau cacat pada produk sebelum diproduksi.

b). Biaya Deteksi

Biaya yang digunakan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi standar kualitas, sehingga kesalahan atau cacat dapat dihindari selama proses produksi.

c). Biaya Kegagalan Internal

Biaya yang muncul akibat produk tidak memenuhi standar kualitas yang ditetapkan, tetapi diketahui sebelum produk dikirim ke pelanggan.

d). Biaya Kegagalan Eksternal

Biaya yang timbul ketika produk yang telah dikirim kepada pelanggan ternyata tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, sehingga perlu dilakukan perbaikan atau penanganan lebih lanjut.

Salah satu metode yang diterapkan di Amerika Serikat adalah metode Taguchi, yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi. Metode ini memanfaatkan teknik statistik dalam perancangan eksperimen guna meningkatkan kualitas desain produk. Strategi yang digunakan berfokus pada penciptaan produk berkualitas serta mengurangi dampak gangguan eksternal, seperti cacat produk, faktor produksi yang tidak optimal, serta kondisi lingkungan yang kurang mendukung.

Pengendalian kualitas adalah kegiatan teknis dan manajerial yang bertujuan untuk mengukur karakteristik kualitas suatu produk atau jasa, membandingkan hasil pengukuran tersebut dengan spesifikasi yang diinginkan, serta melakukan perbaikan jika terjadi penyimpangan dalam kinerja atau standar yang berlaku(Shiyamy, 2021). Tujuan utama dari pengendalian kualitas adalah memastikan bahwa proses produksi serta hasil akhir produk atau jasa sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Adapun tujuan umum dari kontrol kualitas meliputi :

a). Memastikan bahwa produk akhir memiliki spesifikasi yang sesuai dengan standar kualitas yang telah ditentukan.

b). Mengoptimalkan efisiensi dalam biaya desain produk, inspeksi, serta proses produksi.

c). Mengimplementasikan prinsip pengendalian kualitas secara berkelanjutan dengan terus menganalisis dan memperbaiki proses produksi. Upaya ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang berguna dalam mengevaluasi serta memperbarui prosedur agar sistem produksi memiliki kapasitas yang memadai untuk memenuhi spesifikasi produk yang diharapkan pelanggan.

Menurut (Sabilah et al., 2022) disebutkan bahwa ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas sebagai berikut :

a). Kemampuan proses

Batasan yang harus dicapai perlu disesuaikan dengan kapasitas pemrosesan yang tersedia. Mengendalikan suatu proses tanpa mempertimbangkan batas kemampuannya tidak akan efektif.

b). Spesifikasi yang berlaku

Spesifikasi hasil produksi yang ditetapkan harus realistis dan dapat diterapkan, dengan mempertimbangkan kapasitas proses yang tersedia serta kebutuhan atau keinginan pelanggan yang ingin dipenuhi.

c). Tingkat ketidaksuaian yan diterima

Pengendalian proses bertujuan untuk meminimalkan jumlah produk yang tidak memenuhi standar. Tingkat kontrol yang diterapkan bergantung pada sejauh mana produk di bawah standar masih dapat diterima.

Pada dasarnya kualitas di sini difokuskan pada kepuasan pelanggan produk bekas memenuhi ekspektasi konsumen. Memenuhi kebutuhan dan keinginan konsumen tidak selalu sesederhana yang dibayangkan. Bagian dari kualitas produk terkait dengan kualitas produk.

5. Metode Taguchi

Pertama kalinya Metode Taguchi dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi, seorang insinyur Jepang. Konsep Taguchi adalah sebuah pendekatan rekayasa kualitas yang mempunyai tujuan untuk meningkatkan kualitas produk sambil menekan biaya dan sumber daya yang digunakan seefisien mungkin. taguchi menekankan bahwa kerugian dalam proses produksi terjadi akibat penyimpangan dari target yang ditetapkan. Menurut Puspita Andriani et al., (2019). Metodologi ini berfokus pada perancangan

kualitas dalam produk dan proses. Sementara itu, para praktisi umumnya mengandalkan inspeksi untuk memastikan kualitas. Dalam upayanya meningkatkan kualitas, metode Taguchi memanfaatkan alat statistik konvensional, namun dengan pendekatan yang lebih sederhana.

Metode ini menetapkan serangkaian pedoman tegas untuk merancang eksperimen serta menganalisis hasil dan pengambilan keputusan. Metode Taguchi bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi proses produksi dan faktor-faktor yang dapat dikendalikan yang secara langsung memengaruhi produk atau proses produksi tanpa terpengaruh oleh faktor kebisingan. Taguchi mengembangkan filosofi kualitas yang didasarkan pada tiga konsep utama, yaitu :

a). Kualitas harus dirancang sejak awal, bukan sekadar diperiksa. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimalkan penyimpangan dari target yang telah ditentukan.

b). Produk harus dirancang agar tahan terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikendalikan, sehingga tetap berkinerja optimal dalam berbagai kondisi.

c). Kualitas diukur berdasarkan deviasi dari standar yang telah ditetapkan, dan dampak dari penyimpangan tersebut harus dievaluasi dalam keseluruhan sistem.

Metode Taguchi memiliki beberapa kelebihan, di antaranya :

a). Desain eksperimen yang lebih efisien, memungkinkan penelitian dengan banyak faktor dilakukan secara optimal.

b). Mampu menghasilkan proses yang stabil dan konsisten meskipun terdapat faktor eksternal yang tidak dapat dikontrol.

c). Memungkinkan analisis faktor dan level untuk menentukan kombinasi yang menghasilkan hasil optimal.

Meski memiliki banyak keunggulan, metode Taguchi juga memiliki keterbatasan. Jika desain eksperimen melibatkan banyak faktor dan interaksi, bisa terjadi pencampuran antar faktor utama, yang dapat mengurangi keakuratan hasil. Selain itu, jika interaksi yang diabaikan ternyata berpengaruh terhadap karakteristik yang diamati, maka hasil analisis dapat menjadi kurang valid. Untuk mengatasi kekurangan metode ini, maka perlu dilakukan tindakan sebagai berikut pemilihan desain eksperimen yang cermat dengan tujuan tertentu pencarian yang harus dilakukan.

Adapun langkah-langkah metode taguchi pada saat melakukan sebuah eksperimen yaitu :

1). Menetapkan tujuan proses atau secara lebih spesifik menentukan nilai target untuk mengukur kinerja suatu proses.

2). Mengidentifikasi parameter desain yang memengaruhi jalannya proses.

3). Membuat orthogonal arrays untuk parameter desain, yang mencerminkan jumlah dan kondisi masing-masing eksperimen.

4). Melaksanakan eksperimen sesuai dengan array yang telah dibuat untuk mengumpulkan data terkait pengaruhnya terhadap pengukuran kinerja.

5). Melakukan analisis data untuk mengevaluasi pengaruh berbagai parameter pada pengukuran kinerja.

a). Tahapan metode Taguchi

Terdapat tiga tahapan utama dalam optimalisasi desain produk, yaitu:

1). Desain Sistem *(System Design)*

Tahap awal dalam proses desain produk melibatkan perumusan konsep untuk menciptakan produk baru atau meningkatkan proses yang sudah ada. Ide-ide dalam tahap ini dapat berasal dari eksperimen sebelumnya, pengetahuan teknik, atau kombinasi keduanya. Tujuan utama dari tahap ini adalah mengembangkan gagasan inovatif yang dapat diwujudkan dalam bentuk produk atau proses yang lebih baik.

2). Desain Parameter *(Parameter Design)*

Pada tahap ini, dilakukan pengembangan prototipe fisik atau model matematis berdasarkan konsep yang telah dirancang sebelumnya. Uji statistik digunakan untuk mengidentifikasi

parameter yang dapat menghasilkan kinerja optimal serta menganalisis dampak faktor gangguan terhadap variasi target.

3). Desain Toleransi *(Tolerance design)*

Tahap terakhir dalam desain produk berfokus pada penentuan batas toleransi untuk parameter yang berpengaruh terhadap kemungkinan penyimpangan produk. Langkah ini bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif yang mungkin ditimbulkan akibat variasi dalam proses produksi terhadap kualitas akhir produk (Sabilah et al., 2022).

b). Pengendalian dan karateristik kualitas

Pengendalian kualitas dalam metode Taguchi terbagi menjadi dua tahap utama :

1). Pengendalian kualitas "*disconected*" Tahap ini berkaitan dengan aktivitas selama proses pengembangan produk dan desain eksperimen. Beberapa aktivitas yang dilakukan meliputi :

a). Mengidentifikasi kebutuhan dan harapan konsumen.

b). Merancang produk yang sesuai dengan keinginan pelanggan.

c). Memastikan desain produk tetap konsisten.

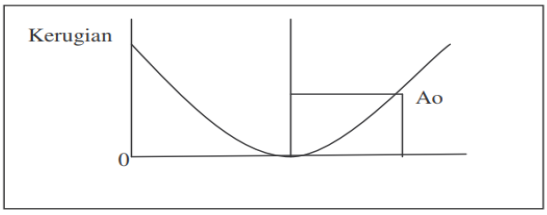
d). Mengembangkan standar, prosedur, dan peralatan secara jelas dan spesifik.

2). Pengendalian kualitas "*On-line*" Tahap ini berfokus pada pengendalian kualitas selama proses produksi. Tujuannya adalah

menjaga konsistensi produk serta melakukan eksperimen untuk meminimalkan variasi antar unit produksi (Nana, 2009).

Setiap produk dirancang untuk menjalankan fungsi tertentu, dan kualitasnya diukur melalui berbagai parameter yang mencerminkan seberapa baik, buruk, atau kurang optimalnya performa produk. Dalam metode Taguchi, karakteristik kualitas yang dapat diukur diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama, yaitu :

1). Nominal the best



Gambar 2. 8 Karakter Nominal the best
(sumber : Sabilah et al., 2022)

Untuk menghitung nilai nominal yang terbaik berdasarkan sampel, perhitungan dapat dilakukan menggunakan rumus berikut :

Rumus :

$L(Y) = k [\sigma^2 + (\bar{Y} - m)^2]$

Di mana :

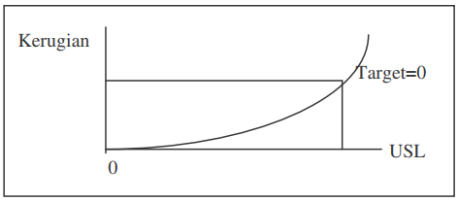
Y = nilai karakteristik kualitas.

L (Y) = Kerugian dalam nilai uang per produk jika karakteristik kualitasnya bernilai Y.

m = nilai target dari Y.

k = koefisien biaya.

2). Smaller the better



Gambar 2. 9 Karakteristik smaller the better
(sumber : Sabilah et al., 2022)

Karakteristik ini mengacu pada parameter yang semakin kecil nilainya, semakin baik kualitasnya. Untuk menghitung kualitas berdasarkan sampel, rumus yang digunakan adalah:

$L(Y) = k(\sigma^2 + \bar{Y}^2)$

Di mana :

Y = nilai karakteristik kualitas

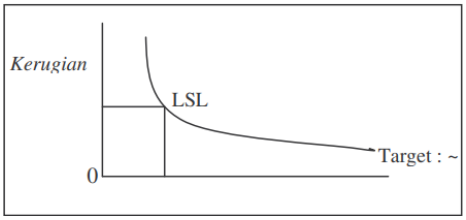
L (Y) = Kerugian dalam nilai uang per produk jika karakteristik kualitasnya bernilai Y.

m = nilai target Y.

k = koefisien biaya.

3). Large the better

Karakteristik ini digunakan ketika nilai ideal dari parameter adalah tak terhingga, di mana semakin besar nilai yang dicapai, semakin baik kualitasnya.



Gambar 2. 10 Karakteristik larger the better
(sumber : Sabilah et al., 2022)

Untuk menghitung parameter larger the better berdasarkan sampel, digunakan rumus berikut :

Rumus :

$$L(Y) = \frac{k}{u^2}\left[1 + \frac{3\sigma^2}{u^2}\right]$$

Di mana :

Y = nilai karakteristik kualitas.
L (Y) = Kerugian dalam nilai uang per produk jika karakteristik kualitasnya bernilai Y.
μ = mean (rata-rata)
σ = deviasi standar
k = koefisien biaya.

c). Faktor kendali dan faktor nois

Beberapa faktor yang memengaruhi karakteristik kualitas suatu produk dapat dikategorikan sebagai berikut :

1). Faktor kontrol

Merupakan parameter dengan nilai yang ditentukan oleh ahli. Faktor ini memiliki satu atau lebih tingkat nilai yang disebut level. Setelah eksperimen dilakukan, level faktor kontrol yang paling sesuai akan dipilih untuk mencapai kualitas optimal, sehingga karakteristik kualitas produk menjadi lebih stabil dan tidak mudah terpengaruh oleh gangguan.

2). Faktor gangguan (*noise*)

Merupakan parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya. Faktor gangguan ini sulit dikendalikan dan dapat berdampak pada kualitas produk.

Terdapat tiga jenis faktor gangguan, yaitu:

a). Gangguan eksternal

Faktor yang berasal dari luar produk, seperti kondisi lingkungan atau situasi yang memengaruhi kinerja ideal suatu produk.

b). Gangguan internal

Faktor gangguan yang berasal dari dalam produk itu sendiri, di mana komponen-komponen saling memengaruhi satu sama lain.

c). Gangguan antar unit

Faktor gangguan yang bersumber dari dalam produk, di mana interaksi antar elemen produk memengaruhi kinerjanya.

d). Desain eksperimen Taguchi

Desain eksperimen dengan metode Taguchi diawali dengan pemilihan fungsi tujuan atau variabel respon serta perancangan parameter (Muhammat & Fatah, 2020). Menurut (Soejanto, 2009), desain eksperimen Taguchi terdiri dari tiga tahap utama yang mencakup seluruh pendekatan eksperimen, yaitu:

1). Perencanaan eksperimen, tahap ini merupakan langkah penting yang mencakup berbagai proses, seperti merumuskan masalah, menentukan tujuan eksperimen, mengidentifikasi variabel terikat, mengenali faktor-faktor (variabel bebas), memisahkan faktor kontrol dari faktor gangguan, menetapkan jumlah level serta nilai setiap level faktor, menentukan kolom interaksi, menghitung derajat kebebasan, dan memilih matriks orthogonal yang sesuai.

2). Tahapan eksperimen, tahap ini mencakup penentuan jumlah replikasi yang dibutuhkan serta penerapan teknik randomisasi

dalam eksperimen untuk memastikan hasil yang akurat dan tidak bias.

3). Pada tahap ini, data hasil eksperimen disajikan dan dianalisis menggunakan metode statistik, seperti analisis varians, serta penerapan rumus-rumus empiris untuk mengolah data.

e). Matriks *orthogonal array*

Orthogonal Array (OA) merupakan bagian dari serangkaian percobaan yang hanya memanfaatkan sebagian dari seluruh kondisi yang ada. Bagian ini mungkin hanya mencakup separuh, dari percobaan faktorial penuh (Amelia, 2005). Berikut dibawah ini notasi orthogonal array yaitu :

L_n (l^f)

Di mana :

f = jumlah faktor

l = jumlah level

n = jumlah pengamatan

L = rancangan bujur sangkar latin

Berikut contoh tabel orthogonal array dalam desain eksperimen Taguchi:

Tabel 2. 2 Orthogonal Array L8 (2^7)

Kolom / experimen	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

(sumber : Amelia, 2005)

f). Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA (*Analysis of Variance*) merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis perbedaan rata-rata di antara beberapa kelompok sampel. Teknik ini dapat dianggap sebagai perluasan dari uji t, yang memungkinkan perbandingan lebih dari dua sampel independent (Soejanto, 2009). Analisis varians membantu mengidentifikasi kontribusi masing-masing faktor dalam eksperimen sehingga akurasi model dapat ditentukan. Metode ANOVA bertujuan untuk mengidentifikasi faktor yang paling signifikan memengaruhi parameter eksperimen. Untuk melakukan uji ANOVA, beberapa asumsi

harus dipenuhi, yaitu observasi harus independen, data berdistribusi normal, dan variansi antar populasi harus seragam.

1). Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk menentukan apakah data dalam penelitian berdistribusi normal, yang merupakan syarat dalam analisis statistik parametrik. Para ahli statistik menyatakan bahwa data dengan jumlah lebih dari 30 (n > 30) umumnya dapat diasumsikan berdistribusi normal. Namun, jika jumlah data kurang dari 30 (n < 30), distribusinya tidak serta-merta dianggap tidak normal (Sabilah et al., 2022).

Normalitas data dapat diuji secara manual menggunakan kertas peluang atau melalui metode statistik seperti uji Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, dan Anderson-Darling. Untuk mempermudah penghitungan, perangkat lunak seperti SPSS, Minitab, Simsat, dan Microsat dapat digunakan. Uji kebaikan antara frekuensi teramati dan frekuensi harapan dilakukan dengan rumus berikut :

$$X^2 = \sum_{1=1}^{n} \frac{(o_1 - e_1)^2}{e_i}$$

Keterangan :

X^2 = nilai peubah acak yang mengikuti distribusi Chi-kuadrat

O_i = frekuensi teramati pada kategori ke-i

e_i = frekuensi harapan pada kategori ke-i

Jika frekuensi teramati mendekati frekuensi harapan, nilai X^2 akan kecil, menunjukkan kesesuaian data yang baik. Sebaliknya, jika terdapat perbedaan signifikan antara keduanya, nilai X^2 menjadi besar, yang mengindikasikan kesesuaian data yang kurang baik. Kesesuaian yang baik menyebabkan penerimaan hipotesis nol (H_0), sedangkan kesesuaian buruk mengarah pada penolakan H_0. Wilayah kritis nilai Chi-kuadrat berada di ekor kanan distribusi, dengan kriteria kritis ditentukan oleh taraf signifikansi α, yaitu $X^2(\text{hitung}) \geq X^2(\text{tabel})$.

2). Uji Homogenitas

Dalam analisis variansi (ANOVA), diasumsikan bahwa variansi populasi bersifat homogen, yaitu $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = ... = \sigma^{m2}$. Oleh karena itu, diperlukan uji homogenitas untuk memastikan kesamaan variansi populasi yang berdistribusi normal (Sabilah et

al., 2022). Untuk lebih dari dua populasi (K > 2) yang independen dan normal dengan variansi yang sama, hipotesis ini dapat diuji. Salah satu metode untuk menguji homogenitas variansi pada dua atau lebih populasi normal adalah uji Bartlett. Misalnya, setiap populasi memiliki sampel n_1, n_2, ..., n_k dengan data Y_{ij} (i = 1, 2, ..., n dan j = 1, 2, ..., n_k), serta variansi sampel masing-masing s_1^2, s_2^2, ..., s_k^2. Variansi gabungan semua sampel sebagai berikut :

$$S2 = \left\{\frac{\sum(n_1-1)s_1^2}{\Sigma(n_1-1)}\right\}$$

$$B = (\log s^2)\ \Sigma\ (n_1 - 1)$$

$$X^2 = (\ln 10)\ \{B- \Sigma(n_1 - 1)\ \log_i^2$$

Jika $x^2 < x^2$ (a) (k-1) maka H_o diterima, dengan catatan x^2 (i-a) (k-1). Perbedaan pada banguntabel dengan penerimaan yang berbeda, tetapi hasil sama.

3). Anova one way

ANOVA satu arah merupakan teknik analisis statistik multivariat yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dua atau lebih kelompok dengan menganalisis variansinya. Metode ini diterapkan saat data dikelompokkan berdasarkan satu faktor (Soejanto, 2009).

Pengaruh antar faktor terhadap variabel bebas dianalisis dengan asumsi bahwa pengaruh mandiri dari masing-masing faktor telah dihilangkan.

4). Anova two way

ANOVA dua arah, atau dikenal sebagai ANOVA dua faktor, digunakan untuk menguji dua variabel nominal secara simultan (Sabilah et al., 2022). Pengaruh masing-masing variabel disebut efek utama (main effect), yang menggambarkan hasil dari perubahan tingkat variabel tersebut.

ST – jumlah kuadrat total

SST = $\Sigma_{i=1}^{n} y^2$

Sa – jumlah kuadrat faktor A

SSA = $\left[\Sigma_{i=1}^{K\ A}\left(\frac{A_1^2}{nAi}\right)\right] - \frac{r^2}{N}$

AAxB – jumlah interaksi AxB

SSAxB = $\frac{(Total\ AxB)^2}{n1} + \frac{(Total\ AxB)^2}{n2} + \frac{(Total\ AxB)^2}{n1+n2}$

Se – jumlah kuadrat error

SST = SSA + SSB + SSAxB + SSe

SSe = SST + SSA – SSB – SSAxB

Hasil analisis variansi tidak membutikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam suatu percobaan. Sehingga perlu adanya uji hipotesa F.

Tabel 2. 3 Anova Two Way

Sumber Varian	Derajat Kebebasan	SS	MS	F hitung	Kontribusi
Faktor A	VA	SSA	MSA	MSA/MSe	SSA/SST
Faktor B	VB	SSB	MSB	MSB/MSe	SSB/SST
Interaksi AxB	VAxVB	SSAxB	MSAxB	MSAxB/Mse	SSAxB/SST
Residual	Ve	Sse	Mse		Sse/SSE
Total	VT	SST			100%

5). Uji F

Uji F digunakan untuk menguji hipotesis dengan membandingkan variansi yang dihasilkan oleh masing-masing faktor terhadap variansi error (Gunawan, 2010).

$$\text{Fsumber} = \frac{variansi\ karena\ perlakuan + variansi\ karena\ error}{variansi\ karena\ error}$$

Nilai F yang diperoleh dari penghitungan dibandingkan dengan nilai F tabel pada tingkat signifikansi tertentu (α) dengan derajat kebebasan ((k-1), (N-k)), di mana k adalah jumlah level faktor, dan N adalah total jumlah pengamatan atau perlakuan. Hipotesis pengujian dalam suatu percobaan :

H0 = Tidak ada pengaruh perlakuan, μ1 = μ2 = ... = μj = μk

H1 = ada pengaruh perlakuan, sehingga ada μ1 yang tidak sama.

Jika nilai Fhitung lebih kecil dari Ftabel (Fhitung < Ftabel), hipotesis nol (H_0) diterima, yang berarti tidak ada pengaruh perlakuan. Namun, jika Fhitung lebih besar dari Ftabel (Fhitung > Ftabel), hipotesis nol (H_0) ditolak, menunjukkan adanya perbedaan akibat perlakuan.

g). Perhitungan efek tiap faktor

Penghitungan efek setiap faktor dapat dilakukan berdasarkan rata-rata atau nilai SNR (Signal-to-Noise Ratio) menggunakan formula sebagai berikut :

Efek faktor = $\frac{1}{a}(\Sigma\ n_0)$

Keterangan :

a = jumlah tiap level faktor dalam sauatu kolom matrik orthogonal

n = SNR yang digunakan

0 = nomor eksperimen

h). Signal to noise ratio (SNR)

SNR (*Signal to Noise Ratio*) digunakan untuk mengevaluasi pengaruh terhadap karakteristik kualitas yang diinginkan. Menurut (Habib bari, 2021), *Signal to Noise Ratio* (SNR) dalam metode Taguchi membantu menentukan nilai level faktor yang optimal terhadap kualitas hasil eksperimen :

1). Smaller is Better

Karakteristik kualitas dengan batas nilai nol dan non-negatif, di mana nilai yang mendekati nol dianggap paling baik.

$S/N = -10_{log} \left(\frac{1}{2} \Sigma_{i=1}^{n} y_1^2\right)$

Dimana :

n = jumlah pengulangan pada suatu eksperimen

y_i = nilai pengamatan ke-i

2). Nominal is Best

Karakteristik kualitas dengan nilai tertentu yang optimal jika mendekati target.

$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \Sigma_{i=1}^{n} \frac{(y,-\bar{y})^2}{n}\right]$

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = nilai pengamatan

3). Larger is Better

Krakteristik kualitas di mana nilai yang lebih besar dianggap lebih baik.

S/N = -10 log $\left[\frac{1}{n}\Sigma_i^n \frac{(y/y_1^2)}{n}\right]$

Dimana :

n = jumlah pengulangan

y = data pengamata

i). Eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memastikan bahwa hasil analisis sebelumnya dapat diterapkan secara nyata (Soejanto, 2009). Langkah – langkagnya meliputi :

1). Perkiraan dilakukan pada tahap menentukan model performansi, termasuk faktor dan interaksi antar faktor.

2). Hasil analisis eksperimen digunakan untuk merancang parameter optimal yang diharapkan dapat meningkatkan performansi.

Langkah-langkah eksperimen konfirmasi yaitu :

1). Merancang kondisi optimal faktor beserta level yang signifikan.

2). Membabndingkan rata-rata dam variansi hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata variansi yang diharapkan.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil jika :

1). Terjadi perbaikan dari hasil suatu proses.

2). Hasil eksperimen konfirmasi dekat dengan nilai yang telah diprediksi.

B. Tinjauan Pustaka

Banyak penelitian terdahulu yang dilakukan mengenai mesin ekstruder filamen dan dipublikasikan untuk memperluas literatur atau referansi tentang mesin extruder filamen, termasuk berbagai metode dan bahan yang digunakan. Penelitian – penelitian ini bervariasi dalam pendekatannya terhadap mesin extruder filamen dan kualitas filamen yang dihasilkannya sesuai dengan standar yang telah ditetapkan Pada tabel tinjauan pustaka menggambarkan tentang beberapa persamaan dan perbedaan pada setiap peneliti terdahulu, pada penelitian ini penulis mengkonfirmasi dan menggunakan eksperimen taguchi dengan orthogonal array L9 (3^2) yang menjelaskan melakukan eksperimen sebanyak 9 kali dengan 2 faktor dan 3 level yang berbeda-beda. Bahan yang digunakan dalam penelitian menggunakan sampah plastik PP (*Polypropylene*) yaitu jenis plastik yang terbuat dari *monomer propylene* dan memiliki banyak kegunaan. Adapun beberapa penelitian yang dijadikan referensi anatara lain :

Tabel 2. 4 Tinjauan Pustaka

No	Penulis	Bahan				Orthogonal Array				Variabel
		PP	PET	HDPE	PVC	L9 (3^3)	L4 (2^3)	L9 (3^2)	L27 (3^5)	
1	(Pamasaria et al., 2020)	✓				✓				Faktor dan Level : a. Printing Temperatur : 230, 245, 260 b. Layer Height : 0,12, 0,16, 0,20 c. Printing Speed : 20,45,50
2	(Martana et al., 2020)		✓	✓			✓			Faktor dan Level : a. PET : 280°C dan 300°C b. HDPE Putih : 280°C dan 300°C c. HDPE Hitam : 280°C dan 300°C
3	(Muhammat & Fatah, 2020)				✓				✓	Faktor dan Level : a. Temp. Barel 1 : 180°C, 185°C, 190°C b. Temp. Barel 2 : 190°C, 295°C, 200°C c. Temp. Barel 3 : 160°C, 165°C, 175°C d. Temp. Barel 4 : 165°C, 275°C, 180°C e. Kecepatan Screw : 14 rpm, 15 rpm, 16 rpm
4	(Habib bari, 2021)		✓						✓	Faktor dan Level : a. Suhu Nozzel : 190°C, 195°C, 200°C b. Suhu Meja : 50°C, 55°C, 60°C

										c. Ketebalan Lapisan : 0,1mm, 0,15mm, 0,2mm d. Bentuk infill : Cubic, Triangle, Quarter e. Kecepatan Print : 65mm/s, 70mm/s, 75mm/s
5	(Kevin dkk., 2023)		✓					✓		Faktor dan Level : a. Suhu Pemanas : 120°C, 125°C, 130°C b. Kecepatan Penggulung : 2 rpm, 4,5 rpm, 6 rpm
6	Penelitian ini	✓						✓		Faktor dan Level : a. Temperatur Barel: 160°C, 170°C, 180°C b. Temperatur Nozzel : 130°C, 140°C, 150°C

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu eksperimen murni yang bertujuan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara satu variabel dengan variabel lainnya. Metode kuantitatif memiliki perbedaan signifikan dibandingkan metode penelitian lainnya karena melibatkan kontrol terhadap variabel penelitian. Pendekatan ini dianggap ilmiah karena memenuhi standar penelitian yang bersifat empiris, objektif, terukur, rasional, dan sistematis. Tujuan utama metode kuantitatif adalah mengidentifikasi serta mengeksplorasi hubungan antarvariabel, menguji teori yang ada, dan memperoleh generalisasi yang bernilai produktif. Dalam metode ini, analisis data dilakukan menggunakan teknik statistic (Sugiyono, 2021).

Perancangan eksperimen bertujuan untuk menyusun proses penelitian sehingga data yang relevan dapat dikumpulkan dan dianalisis secara statistik. Tujuan utamanya adalah memperoleh kesimpulan yang valid dan objektif dengan memastikan data yang dikumpulkan sesuai dengan kebutuhan penelitian (Sabilah et al., 2022).

Pemilihan faktor dan level pada penelitian ini memiliki beberapa alasan penting, yaitu :

1. **Eksplorasi Rentang Parameter**

Pemilihan 3 level untuk setiap faktor memungkinkan kita mengeksplorasi rentang parameter yang lebih luas. Hal ini penting untuk memahami bagaimana variasi suhu pemanas dan kecepatan penggulung mempengaruhi kualitas hasil ekstrusi plastik PP.

2. **Optimasi Proses**

   Dengan menggunakan orthogonal array, kita bisa mengidentifikasi kombinasi optimal dari suhu yang menghasilkan produk dengan kualitas terbaik, seperti kekuatan tarik, kelenturan, dan homogenitas bahan.

3. **Efisiensi Eksperimen**

   Orthogonal array membantu dalam merancang eksperimen yang efisien dengan jumlah uji coba yang minimal. Ini mengurangi waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk menjalankan eksperimen, sekaligus memastikan data yang diperoleh cukup untuk analisis statistik.

4. **Mengidentifikasi Interaksi**

   Dengan 3 level pada setiap faktor, kita dapat mendeteksi adanya interaksi antara suhu pemanas. Interaksi ini bisa mempengaruhi hasil akhir dan penting untuk dipahami dalam optimasi proses.

5. **Variabilitas dan Reproduksibilitas**

   Pemilihan variabel temperatur barel 130 – 150°C dan *nozzle* 230 – 250°C dalam konteks variabilitas dan reproduksibilitas bertujuan untuk memastikan bahwa hasil eksperimen memiliki tingkat konsistensi tinggi sekaligus dapat menggambarkan efek dari perubahan parameter pada keluaran proses. Penggunaan orthogonal array dalam konteks ini membantu mencapai keseimbangan antara jumlah eksperimen yang

dilakukan dan informasi yang diperoleh, sehingga memungkinkan pengembangan mesin ekstruder yang lebih efektif dan efisien.

Penelitian ini memiliki beberapa perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan penelitian lainnya, terutama yang berkaitan dengan pengembangan mesin ekstruder dan penggunaan metode Taguchi. Berikut adalah beberapa aspek yang membedakannya :

1. Fokus pada sampah plastik berbentuk silinder

   Penelitian ini secara khusus menargetkan penggunaan sampah plastik berbentuk silinder sebagai bahan baku. Ini berbeda dari penelitian lain yang mungkin menggunakan bentuk atau jenis plastik lain, seperti lembaran, serat, atau pelet.

2. Menggunakan metode *Taguchi*

   Metodh Taguchi digunakan secara spesifik untuk mengoptimalkan parameter proses dalam pengembangan mesin ekstruder. Penelitian ini fokus pada penggunaan *orthogonal array* dan analisis SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) untuk menentukan kombinasi terbaik dari parameter seperti suhu dan kecepatan penggulung, yang mungkin tidak diterapkan dalam penelitian ekstrusi plastik lainnya.

3. Pengembangan mesin ekstruder

   Penelitian ini tidak hanya fokus pada parameter proses tetapi juga pada pengembangan dan desain mesin ekstruder itu sendiri. Aspek ini mencakup modifikasi dan penyesuaian mesin untuk dapat menangani sampah plastik berbentuk silinder secara efektif.

4. Tujuan ligkungan

Penelitian ini mungkin memiliki tujuan khusus untuk mengatasi masalah lingkungan dengan mendaur ulang sampah plastik menjadi produk yang lebih bernilai. Ini menambah aspek keberlanjutan dan tanggung jawab lingkungan yang mungkin tidak sejelas dalam penelitian ekstrusi plastik lainnya.

5. Parameter khusus yang diuji

   Pemlihan temperatur barel dengan suhu 160°C - 180°C dipilih untuk mencairkan material plastik secara bertahap tanpa menyebabkan degradasi termal. Material plastik seperti *polipropilena* (PP) atau polietilena tereftalat (PET) memiliki temperatur transisi kaca atau titik leleh di rentang ini. Suhu yang terlalu rendah akan menyebabkan material tidak mencair sepenuhnya, sedangkan suhu terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi material. Serta pemilihan temperature *nozzle* dengan suhu 230°C - 250°C dipilih untuk memastikan aliran material yang optimal sehingga filament dapat keluar dengan viskositas yang tepat. Suhu ini disesuaikan dengan kebutuhan pencetakan dan spesifikasi bahan plastik.

6. Metodologi eksperimental

   Penggunaan metode taguchi untuk desain eksperimen menawarkan pendekatan sistematis dan efisien untuk mengidentifikasi kondisi optimal.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Penelitian pengembangan mesin Ekstruder filamen ini dilakukan di Desa Pesalakan, Kecamatan Adiwerna, Kabupaaten Tegal.

2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan mulai dari bulan Maret sampai bulan Desember 2024. Adapun tabel jadwal kegiatan penelitian sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Pengajuan judul	■									
2	Pembuatan proposal penelitian	■	■	■	■						
3	Bimbingan proposan	■	■	■	■						
4	Seminar proposal				■	■	■	■	■	■	
5	Pengumpulan data dan pengolahan data				■	■	■	■	■	■	
6	Penyusunan skripsi									■	■
7	Bimbingan skripsi									■	■
8	Penyelesaian skripsi									■	■
9	Sidang skripsi										■

C. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam pengembangan mesin ekstruder filamen untuk 3D printer merupakan peralatan standar yang umum digunakan dalam proses permesinan. Berikut adalah peralatan yang digunakan :

a). Alat Elstruder Filamen

Gambar 3. 1 Alat Ekstruder Filamen

b). Mesin Bor

Gambar 3. 2 Mesin Bor

c). Mesin Las

Gambar 3. 3 Mesin Las

d). Kikir

Gambar 3. 4 Kikir

e). Tang

Gambar 3. 5 Tang

f). Obeng

Gambar 3. 6 Obeng

g). Penggaris

Gambar 3. 7 Penggaris

h). Spidol

Gambar 3. 8 Spidol

2. Bahan

Berikut bahan yang digunakan dalam pengembangan membuat mesin ekstruder filamen 3D printer :

a). Heater Band 220V

Gambar 3. 9 Heater Band

b). PID Rex C100

Gambar 3. 10 PID Rex C100

c). Mur dan Baut

Gambar 3. 11 Mur dan Baut

d). Kawaat Las

Gambar 3. 12 Kawat Las

e). Gerinda

Gambar 3. 13 Gerinda

f). Kipas DC 12V

Gambar 3. 14 Kipas DC

g). Roll Gulungan

Gambar 3. 15 Roll Gulungan

h). Dinamo Generator DC 24V

Gambar 3. 16 Dinamo Generator

i). Cat Hitam

Gambar 3. 17 Cat Hitam

j). Mata Bor

Gambar 3. 18 Mata Bor

3. Prosedur Eksperimen

a). Proses Perancangan

Penulis mengumpulkan referensi dari berbagai sumber, seperti jurnal dan artikel, yang berkaitan dengan perancangan mesin yang akan dikembangkan. Hal ini bertujuan untuk memperoleh gambaran umum mengenai mesin yang akan dibuat. Setelah itu, penulis melaksanakan beberapa langkah utama dalam proses perancangan mesin ekstruder filamen untuk printer 3D. Adapun tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

1). Membuat desain mesin ekstruder filamen.

2). Memilih bahan yang akan digunakan pada pengembangan mesin ekstruder filamen terutama bahan plastik PP.

3). Menentukan dimensi konstruksi serta menganalisis kekuatan rangka mesin ekstruder filamen.

b). Proses Pembuatan

Pada tahap ini, setiap komponen mesin ekstruder filamen untuk printer 3D dikelompokkan agar mempermudah proses pengerjaan dan perakitan.

c). Proses Perakitan

Tahap ini mencakup proses perakitan mesin ekstruder filamen yang dilakukan oleh penulis. Dalam proses perakitan mesin ekstruder filamen untuk 3D printing, diperlukan perhatian khusus terhadap prosedur yang diterapkan agar hasilnya optimal.

d). Proses Penggunaan Limbah Plastik Menjadi Filamen

Pada tahap ini menjelaskan proses dari bahan mentah (plastik PP) menjadi produk filemen yang meliputi, Pengumpulan plastik PP, pemilahan, pembersihan, pengeringan, pemotongan, pelelehan, pendinginan, penggulungan, dan kontrol kualitas.

D. Variabel Penelitian

Variabel penelitian merujuk pada segala aspek yang ditetapkan oleh peneliti untuk dikaji guna memperoleh informasi dan menarik kesimpulan. Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis variabel, yaitu :

1. Variable Bebas (*Variable Independen*)

Variabel ini juga dikenal sebagai variabel stimulus, prediktor, atau antecedent. Dalam bahasa Indonesia, disebut sebagai variabel bebas, yaitu variabel yang memengaruhi atau menjadi penyebab perubahan pada variabel dependen (terikat). Variabel ini juga sering disebut sebagai variabel eksogen (Ulfa, 2021). Pada penelitian ini memfokuskan pada satu bahan jenis plastik PP menggunakan temperature barel 160 - 180°C. Rentang ini mencerminkan suhu yang optimal untuk plastifikasi material tanpa risiko degradasi. Proses ini bertahap, di mana material plastik mulai meleleh di suhu rendah dan mencapai konsistensi cair yang seragam di suhu tinggi. Dan temperaur *nozzle* 230 - 250°C Rentang ini dipilih untuk memastikan kelancaran ekstrusi dan pembentukan filamen. Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan sumbatan (*clogging*), sedangkan suhu terlalu tinggi bisa menyebabkan degradasi termal dan perubahan sifat material. Pemilihan suhu barel **160 – 180°C** dan *nozzle* **230 – 250°C** sebagai variabel bebas didasarkan pada pengaruh signifikan suhu terhadap kualitas hasil, fleksibilitas analisis hubungan sebab-akibat, serta kompatibilitas dengan metode Taguchi. Rentang ini memungkinkan kontrol eksperimen yang baik sekaligus mendukung optimasi proses ekstrusi plastik.

Tabel 3. 2 Variabel Bebas

Kode	Faktor	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	Temperatur Barel	°C	160	170	180
B	Temperatur *Nozzel*	°C	230	240	250

2. Variabel Terikat (*Variable Dependen*)

Variabel dependen, juga dikenal sebagai variabel output, kriteria, atau konsekuen, dalam bahasa Indonesia disebut variabel terikat. Variabel ini merupakan variabel yang

dipengaruhi atau menjadi akibat dari keberadaan variabel bebas. Selain itu, variabel terikat juga disebut sebagai variabel endogen (Ulfa, 2021).

E. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data adalah teknik yang digunakan untuk mengumpulkan informasi dengan tujuan memperoleh data yang diperlukan guna menyusun keterangan dan fakta yang telah ditetapkan, sehingga informasi yang diperoleh bersifat objektif (Sugiyono, 2017). Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data yang digunakan meliputi studi pustaka, observasi, eksperimen, pengujian, dan dokumentasi.

1. Observasi

   Observasi adalah teknik pengumpulan data dengan melakukan pengamatan langsung terhadap objek penelitian guna memperoleh data primer secara langsung. Dalam penelitian ini, observasi digunakan sebagai teknik utama untuk mengumpulkan data. Penelitian ini menerapkan jenis observasi partisipatif, di mana peneliti ikut serta dalam aktivitas sehari-hari dari subjek yang diamati atau sumber data penelitian (Sabilah et al., 2022). Melalui observasi, data yang diperoleh menjadi lebih lengkap dan akurat.

2. Eksperimen

   Kegiatan yang dilakukan untuk mendapatkan data dengan melakukan esperimen serta pengujian mesin ekstruder filamen. Sehingga didaptkan data yang diperlukan dalam penelitian ini.

3. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan merujuk pada berbagai sumber referensi, seperti buku dan jurnal, yang mendukung penelitian ini. Metode ini digunakan sebagai pelengkap observasi dan wawancara yang telah dilakukan untuk memperkuat analisis penelitian.

F. Metode Analisis Data

Metode analisis data merupakan pendekatan yang digunakan untuk mengolah, menganalisis, dan menguji kebenaran data yang telah dikumpulkan. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan menggunakan metode Taguchi, yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja mesin ekstruder filamen agar menghasilkan filamen dengan kualitas optimal :

1. Pengambilan Data

   Pengambilan data dilakukan dengan acuan dari Orthogonal Array.

2. Analisis data hasil dari eksperimen menggunakan perthitungan :

   a). Uji Normalitas Data

   Pengujian normalitas data dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab-20. Metode yang digunakan adalah Kolmogorov-Smirnov Z dengan tingkat signifikansi (α) sebesar 0,05. Pengujian ini dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut:

   Hipotesis:

   H_0 : data berdistribusi normal

   H_1 : data tidak berdistribusi normal

$\alpha = 0,05$

daerah kritits :H_1 diterima jika Sig < α

b). Uji Homogenitas Data

1). Data dikatakan homogen jika nilai P-Value lebih besar dari 0,05 dan terdapat irisan antara seluruh sampel. Jika sampel menunjukkan adanya irisan, maka data dianggap homogen.

2). Uji homogenitas dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh jenis substrat terhadap kadar alkohol. Kriteria pengambilan keputusan adalah nilai P-Value harus lebih besar dari distribusi F pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$.

c). Orthogonal Array

Tahap eksperimen ini menggunakan acuan tabel orthogonal array yang diperoleh dari metode Taguchi. Analisis diameter filamen dilakukan dengan *software* minitab-20 menggunkan 9 kali eksperimen melalui 2 faktor dan 3 level seperti tabel L9 (3^2) di bawah ini :

Tabel 3. 3 Orthogonal Array L9 (3^2)

Run	Faktor dan Level		Diameter Filamen
	A	B	
1	1	1	

2	1	2	
3	1	3	
4	2	1	
5	2	2	
6	2	3	
7	3	1	
8	3	2	
9	3	3	

Keterangan :

A : Temperatur Barel

1 : 160°C

2 : 170°C

3 : 180°C

B : Temperatur *Nozzle*

1 : 230°C

2 : 240°C

3 : 250°C

1). Pada eksperimen yang pertama menggunakan faktor A (Temperatur Barel) dengan level 1, untuk Faktor B (Temperatur *Nozze*l) dengan level 1. Sehingga dari perpaduan kedua faktor dan level didaptkan sampel untuk eksperimen yang pertama.

2). Pada eksperimen yang kedua menggunakan faktor A (Temperatur Barel) dengan level 1, untuk Faktor B (Temperatur *Nozze*l) dengan level 2. Sehingga dari perpaduan kedua faktor dan level didaptkan sampel untuk eksperimen yang kedua.

3). Pada eksperimen yang ketiga menggunakan faktor A (Temperatur Barel) dengan level 1, untuk Faktor B (Temperatur *Nozze*l) dengan level 3. Sehingga dari perpaduan kedua faktor dan level didaptkan sampel untuk eksperimen yang ketiga.

4). Pada eksperimen yang keempat menggunakan faktor A (Temperatur Barel) dengan level 2, untuk Faktor B (Temperatur *Nozze*l) dengan level 1. Sehingga dari perpaduan kedua faktor dan level didaptkan sampel untuk eksperimen yang keempat.

5). Pada eksperimen yang kelima menggunakan faktor A (Temperatur Barel) dengan level 2, untuk Faktor B (Temperatur *Nozze*l) dengan level 2. Sehingga dari perpaduan kedua faktor dan level didaptkan sampel untuk eksperimen yang kelima.

6). Pada eksperimen yang keenam menggunakan faktor A (Temperatur Barel) dengan level 2, untuk Faktor B (Temperatur *Nozze*l) dengan level 3. Sehingga dari perpaduan kedua faktor dan level didaptkan sampel untuk eksperimen yang keenam.

7). Pada eksperimen yang ketujuh menggunakan faktor A (Temperatur Barel) dengan level 3, untuk Faktor B (Temperatur *Nozze*l) dengan level 1. Sehingga dari perpaduan kedua faktor dan level didaptkan sampel untuk eksperimen yang ketujuh.

8). Pada eksperimen yang kedelapan menggunakan faktor A (Temperatur Barel) dengan level 3, untuk Faktor B (Temperatur *Nozze*l) dengan level 2. Sehingga

dari perpaduan kedua faktor dan level didaptkan sampel untuk eksperimen yang kedelapan.

9). Pada eksperimen yang kesembilan menggunakan faktor A (Temperatur Barel) dengan level 3, untuk Faktor B (Temperatur *Nozze*l) dengan level 3. Sehingga dari perpaduan kedua faktor dan level didaptkan sampel untuk eksperimen yang kesembilan.

d). Nilai Signal to Noise (S/N Ratio)

S/N Ratio digunakan untuk meneliti suatu pengaruh noise terhadap variansi yang timbul. Berikut jenis-jenisnya :

1). Large the better, yang berarti semakin tinggi nilainya, maka kualitas akan semakin baik.

2). Nominal the better, yang berarti suatu nominal tertentu, dan semakin mendekati nilai nominal tersebut, maka kualitas yang diperoleh akan semakin baik.

3). Smaller the better, yang berarti semakin kecil hasilnya, maka kualitas yang diperoleh akan semakain baik.

e). ANOVA

Analisis varians dalam metode Taguchi digunakan sebagai pendekatan statistik untuk mengevaluasi data hasil eksperimen. Teknik ini memungkinkan perhitungan kontribusi kuantitatif dari setiap faktor terhadap variabel respons yang diukur. Dalam desain parameter, analisis varians berperan dalam mengidentifikasi

faktor yang berkontribusi secara signifikan untuk meningkatkan akurasi prediksi model.

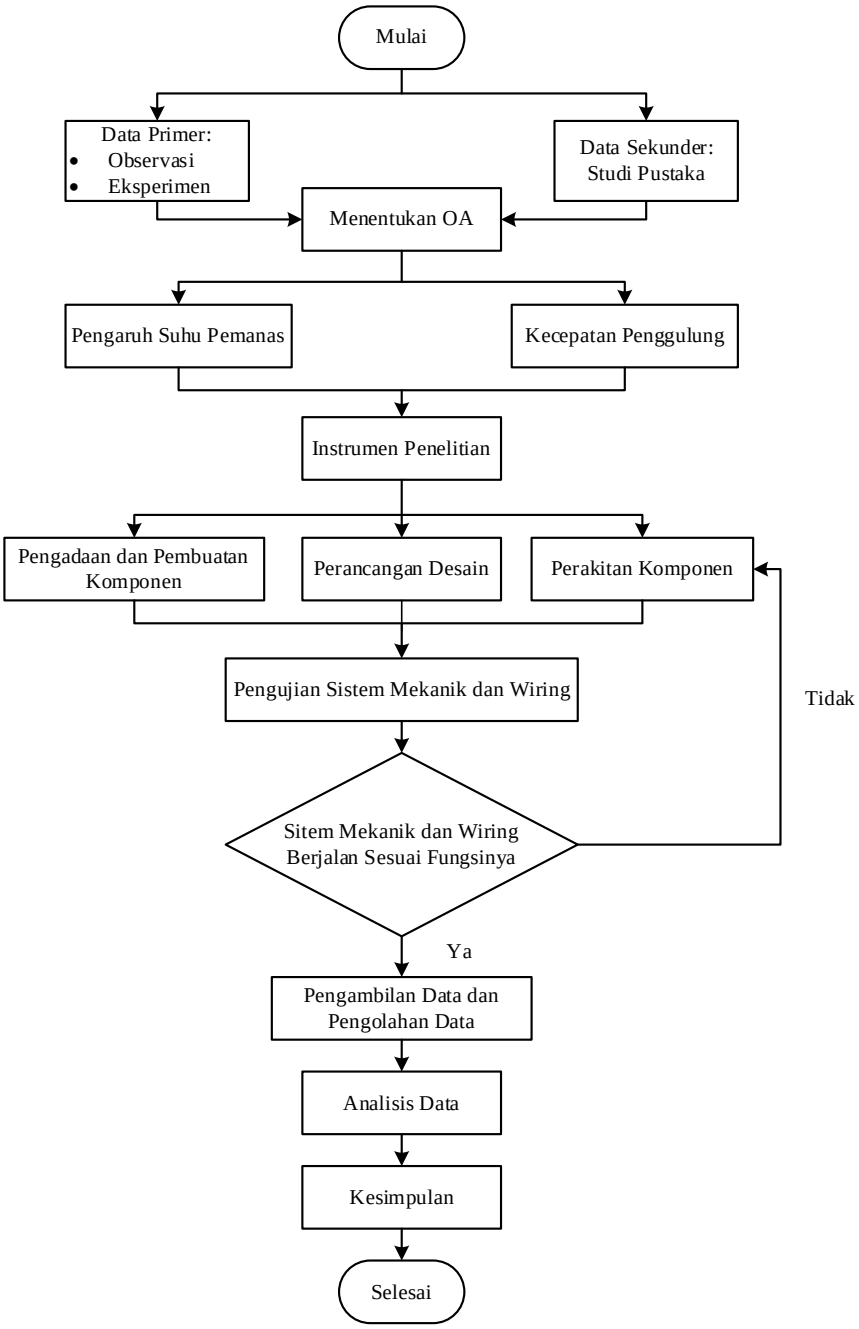
$H_o : \mu_1 = \mu_2 = \ldots \mu_T$

Hipotesis nol menyatakan bahwa rata-rata beberapa sampel memiliki parameter populasi yang sama. Jika asumsi ini terpenuhi, maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata populasi dari berbagai sampel berasal dari satu populasi yang sama.

$H_o : \mu_1 \sigma\ \mu_2\ \sigma_{\ldots}\ \sigma\ \mu_T$

Hipotesis alternatif menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan di antara beberapa sampel, yang mengindikasikan bahwa rata-rata sampel berasal dari populasi yang berbeda untuk $i \neq j$.

G. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 19 Diagram alur penelitian