

Rekayasa Mutu Sepatu Boot Air Dengan *Robust Design*

Judi Prajetno Sugiono^{1*}

¹Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Institute Sains dan Teknologi Terpadu

*Email: jpsugiono@stts.edu

ABSTRAK

Kebutuhan sepatu boot air terus meningkat seiring meluasnya sektor pekerjaan dengan risiko lingkungan tinggi. Peningkatan kapasitas produksi melalui penggunaan rotary dual injection molding machine menimbulkan permasalahan berupa tingginya variasi parameter proses dan waktu setup yang panjang, sehingga berdampak pada meningkatnya cacat produk. Penelitian ini bertujuan untuk merekayasa pengaturan parameter mesin injeksi sepatu boot air agar diperoleh proses yang *robust* terhadap gangguan (noise) dan menghasilkan mutu produk yang konsisten. Metode yang digunakan adalah *robust design* Taguchi dengan pendekatan Signal to Noise Ratio (SNR). Penelitian diawali dengan identifikasi karakteristik mutu, faktor kontrol, dan faktor noise, dilanjutkan dengan perancangan eksperimen menggunakan matrik orthogonal. Analisis dilakukan terhadap dua shift produksi dengan kondisi operasi yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan pengaturan parameter optimal mampu meningkatkan nilai SNR hingga 21,52 dB pada kedua shift produksi, serta menurunkan proporsi produk cacat secara signifikan dibandingkan kondisi awal. Konfigurasi parameter optimal yang dihasilkan bersifat aplikatif dan dapat langsung diterapkan pada proses manufaktur untuk mengurangi waktu setup dan meningkatkan kestabilan kualitas produk.

Kata Kunci: Sepatu boot air, Injection molding machine, *Robust design*, *Signal to Noise Ratio*, Taguchi

ABSTRACT

The demand for water boots continues to increase along with the expansion of work sectors exposed to harsh environmental conditions. The use of rotary dual injection molding machines to increase production capacity introduces challenges related to a large number of process parameters and extended setup time, which contribute to product defects. This study aims to optimize injection machine parameters to achieve a robust process that consistently produces high-quality water boots. The Taguchi robust design method was applied using a Signal to Noise Ratio (SNR) approach. The study involved identifying quality characteristics, control factors, and noise factors, followed by experimental design using orthogonal arrays. Experiments were conducted across two production shifts with different operating conditions. The results indicate that the proposed optimal parameter settings increased the SNR value up to 21.52 dB for both shifts and significantly reduced the fraction of defective products compared to the initial condition. The optimized configuration is practical and can be directly implemented in the manufacturing process to reduce setup time and improve product quality stability.

Keywords: Water boots, Injection molding machine, *Robust design*, *Signal to Noise Ratio*, Taguchi

1. Pendahuluan

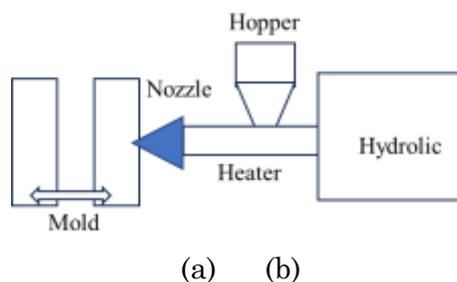
Sepatu boot air merupakan alat pelindung diri yang banyak digunakan pada lingkungan kerja dengan risiko tinggi, seperti area berlumpur, basah, licin, maupun berbatu. Produk ini dituntut memiliki karakteristik utama berupa ketahanan terhadap air, kekuatan mekanik yang baik, serta kualitas permukaan yang seragam. Contoh sepatu boot air dengan berbagai ukuran dan variasi warna yang diproduksi secara massal dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sepatu boot air dalam berbagai ukuran dan warna

Seiring meningkatnya kebutuhan dan variasi penggunaan sepatu boot air, industri manufaktur dituntut untuk meningkatkan kapasitas produksi tanpa mengorbankan mutu produk. Salah satu teknologi yang umum digunakan dalam proses pembuatan sepatu boot air adalah injection molding machine, khususnya tipe rotary dual injection, yang memungkinkan penggunaan dua jenis material atau warna dalam satu produk (Iqbal et al., 2021; Rahmadi et al., 2025; Wikipedia, 2022).

Meskipun mampu meningkatkan produktivitas, mesin rotary dual injection memiliki kompleksitas proses yang tinggi karena melibatkan banyak parameter operasi yang harus diatur secara manual oleh operator (Fikri et al., 2012). Perbedaan kondisi operasi antar shift produksi menyebabkan variasi pengaturan parameter mesin, sehingga berpotensi meningkatkan waktu setup dan jumlah produk cacat. Alur proses injeksi yang melibatkan tahapan loading, injeksi pada dua unit injektor, dan unloading dapat diamati pada konfigurasi mesin yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Mesin Injeksi (a) bagian-bagian utama Mesin Injeksi
(b)Tampak atas Mesin rotary 2 injektor

Permasalahan utama yang dihadapi pada proses injeksi sepatu boot air adalah ketidakstabilan kualitas produk akibat pengaruh berbagai faktor yang sulit dikendalikan secara langsung, seperti perbedaan kemampuan operator, temperatur lingkungan kerja, serta variasi waktu loading dan unloading. Kondisi ini menyebabkan operator harus melakukan pengaturan ulang parameter mesin secara berulang, yang berdampak pada inefisiensi waktu produksi dan meningkatnya fraction defective.

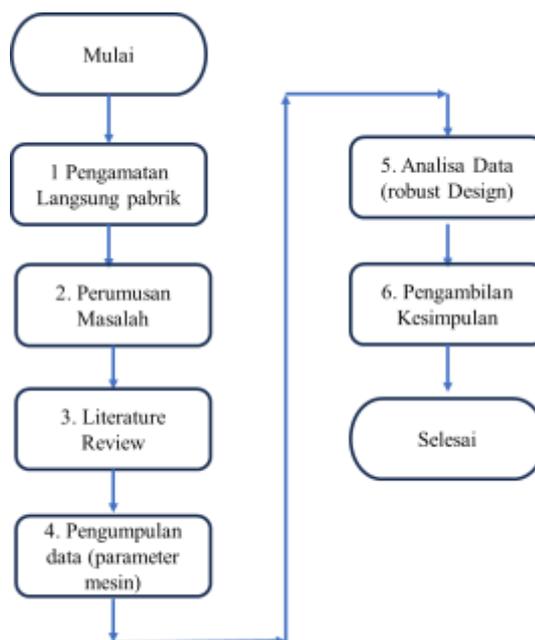
Pendekatan konvensional yang berfokus pada pencapaian nilai nominal parameter sering kali belum mampu mengatasi pengaruh gangguan (*noise*) tersebut secara efektif (Gravell et al., 2020; Sariyildiz et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan suatu metode perancangan eksperimen yang tidak hanya berorientasi pada pencapaian target kualitas, tetapi juga mampu menghasilkan proses yang tidak sensitif terhadap variasi lingkungan. Metode *robust design* menawarkan pendekatan sistematis untuk meminimalkan pengaruh *noise* melalui optimasi *Signal to Noise Ratio* (SNR) (F.-C. Wu, 2015).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merekayasa pengaturan parameter mesin injeksi sepatu boot air menggunakan metode *robust design*. Penelitian difokuskan pada identifikasi faktor kontrol dan faktor noise yang berpengaruh terhadap mutu produk, perancangan eksperimen menggunakan matrik orthogonal, serta penentuan kombinasi parameter optimal yang dapat diaplikasikan secara langsung pada proses manufaktur. Diharapkan hasil penelitian ini mampu menurunkan tingkat cacat produk, mengurangi waktu setup, dan meningkatkan kestabilan kualitas injeksi sepatu boot air.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada proses produksi sepatu boot air menggunakan rotary dual injection molding machine di lingkungan pabrik manufaktur. Metode penelitian dirancang untuk memperoleh pengaturan parameter mesin yang *robust* terhadap gangguan (*noise*) sehingga mampu menghasilkan kualitas produk yang stabil pada kondisi operasi yang berbeda.

Tahapan penelitian diawali dengan studi lapangan untuk mengamati langsung proses injeksi sepatu boot air serta mengidentifikasi permasalahan yang terjadi selama produksi. Observasi difokuskan pada proses pengaturan parameter mesin, waktu setup, serta jenis cacat produk yang muncul. Alur umum tahapan penelitian disusun secara sistematis dan ditampilkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Metode Penelitian.

Selanjutnya dilakukan penelusuran literatur untuk memperkuat dasar teoritis terkait metode *robust design*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan penggunaan matrik orthogonal dalam perancangan eksperimen. Kajian literatur ini menjadi dasar dalam menentukan pendekatan eksperimen yang sesuai dengan karakteristik proses injeksi sepatu boot air.

Pengumpulan data dilakukan dengan mengamati dan mencatat parameter-parameter proses yang berpengaruh terhadap hasil injeksi. Data yang dikumpulkan mencakup karakteristik mutu produk, faktor kontrol, serta faktor *noise*. Untuk

memastikan validitas dan relevansi data, dilakukan diskusi dan brainstorming dengan operator mesin dan bagian engineering yang terlibat langsung dalam proses produksi.

Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter proses dan kualitas produk. Pada tahap ini metode *robust design* diaplikasikan melalui perancangan eksperimen menggunakan matrik orthogonal. Eksperimen dirancang untuk mengevaluasi pengaruh faktor kontrol terhadap karakteristik mutu dengan mempertimbangkan variasi faktor noise. Analisis kinerja dilakukan menggunakan nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) sebagai indikator tingkat *robust* proses (Musdalifah & Malik, 2023; F. Wu, 2008).

Tahap akhir penelitian adalah evaluasi performansi dari kombinasi parameter optimal yang dihasilkan. Evaluasi dilakukan melalui eksperimen pembuktian (*confirmation experiment*) untuk memastikan bahwa pengaturan parameter yang diusulkan mampu meningkatkan kestabilan kualitas produk dan mengurangi tingkat cacat dibandingkan dengan kondisi awal proses.

3. Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil pengumpulan data, didapatkan kenyataan bahwa parameter yang diamati memiliki dimensi yang mengejutkan, karena hampir semua variable terlibat atau berkontribusi terhadap terjadinya cacat pada produk, karena itu dilakukan pemetaan terhadap variable-variabel tersebut dan mengolongsangkannya agar didapatkan reduksi jumlahnya

3.1 Identifikasi Faktor dan Karakteristik Mutu

Berdasarkan hasil observasi lapangan dan diskusi dengan operator serta bagian engineering, diketahui bahwa proses injeksi sepatu boot air dipengaruhi oleh sejumlah faktor yang berkontribusi terhadap variasi kualitas produk. Faktor-faktor tersebut selanjutnya dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama, yaitu faktor kontrol, faktor noise, dan karakteristik mutu sebagai respon proses.

Karakteristik mutu yang digunakan dalam penelitian ini merepresentasikan kualitas hasil injeksi sepatu boot air. Dua karakteristik mutu utama yang diamati adalah berat sepatu boot air dan fraction defective. Pengukuran berat digunakan untuk memastikan keseragaman ketebalan upper sepatu, sedangkan fraction defective digunakan untuk mengidentifikasi cacat visual seperti adanya rongga udara, permukaan pecah, ketebalan tidak merata, dan sobekan pada produk.

Faktor noise merupakan faktor yang sulit dikendalikan secara langsung namun berpengaruh terhadap kestabilan proses injeksi. Dalam penelitian ini, faktor noise yang dipertimbangkan meliputi temperatur lingkungan kerja, variasi waktu loading dan unloading, serta perbedaan kemampuan operator. Pemilihan faktor noise ini didasarkan pada hasil pengamatan langsung di lantai produksi dan dikonfirmasi melalui diskusi dengan pihak terkait. Tingkat dan kombinasi faktor noise yang digunakan dalam eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Noise

Temp. Ruangan (TR) °C	Shift I	Shift II
Level 1	34	32
Level 2	40	36
Load / unload Time (L/U) detik	Shift I	Shift II

Level 1	20/5	22/5
Level 2	22/5	7/11
Operator		
Level 1	Group 1A	Group 2A
Level 2	Group 1B	Group 2B

Faktor kontrol merupakan parameter proses yang dapat diatur oleh operator dan memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil injeksi. Berdasarkan proses brainstorming dan evaluasi teknis, diperoleh sejumlah parameter mesin yang diklasifikasikan sebagai faktor kontrol, antara lain temperatur barrel heater, tekanan injeksi, tekanan molding, waktu pullback, serta rasio pencampuran material. Daftar lengkap parameter mesin dan pengaruhnya terhadap kemampuan injeksi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Mesin dan Pengaruhnya terhadap Kemampuan injeksi

Parameter	Berpengaruh terhadap injeksi	Parameter	Berpengaruh terhadap injeksi
1 Barrel heater I	Y	12 Jam kerja per hari	N
2 Barrel heater II	Y	13 Molding pressure I	Y
3 Chill water	N	14 Molding pressure II	Y
4 Temperatur ruangan	Y	15 Pull back time I	Y
5 Viscosity	N	16 Pull back time II	Y
6 Operator	Y	17 shift kerja	N
7 Bahan baku	Y	18 Load / Unload time	Y
8 Hydraulic water pressure	N	19 Mold close time	Y
9 Hydraulic oil pressure	Y	20 Mixing ratio	Y
10 Injection pressure I	Y	21 Humidity	N
11 Injection pressure II	Y		

Dengan mengelompokkan faktor-faktor tersebut ke dalam kerangka *robust design*, proses optimasi difokuskan pada penentuan kombinasi faktor kontrol yang mampu menghasilkan kualitas produk yang stabil meskipun terjadi variasi faktor noise. Pendekatan ini memungkinkan perancangan proses injeksi sepatu boot air yang lebih konsisten dan aplikatif pada kondisi produksi nyata.

3.2 Perancangan Eksperimen Menggunakan Matrik Orthogonal

Perancangan eksperimen dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan *robust design* dengan matrik orthogonal Taguchi. Penggunaan matrik orthogonal

bertujuan untuk memperoleh kombinasi eksperimen yang efisien sehingga pengaruh faktor kontrol terhadap karakteristik mutu dapat dianalisis dengan jumlah percobaan yang relatif minimum.

Pemilihan jenis matrik orthogonal disesuaikan dengan jumlah faktor dan level yang digunakan dalam eksperimen. Pada tahap awal, eksperimen terhadap faktor noise melibatkan tiga faktor dengan masing-masing dua level, sehingga digunakan matrik orthogonal yang sesuai untuk mengevaluasi pengaruh variasi lingkungan terhadap kualitas produk. Kombinasi faktor noise yang digunakan dalam eksperimen ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Eksperimen Matrik Orthogonal terhadap faktor Noise

	Temperature ruangan (°C)	Load/Unload time (detik)	Operator (orang)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	3	2	1

Selanjutnya, eksperimen utama dirancang untuk mengevaluasi pengaruh faktor kontrol terhadap karakteristik mutu dengan mempertimbangkan kondisi noise. Berdasarkan hasil identifikasi, diperoleh sebelas faktor kontrol yang masing-masing memiliki dua level. Penentuan matrik orthogonal dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung derajat kebebasan (degree of freedom) dari sistem eksperimen.

Untuk faktor dengan dua level, derajat kebebasan tiap faktor adalah satu, sehingga total derajat kebebasan yang dibutuhkan sebesar 11. Oleh karena itu, matrik orthogonal yang dipilih harus memiliki jumlah baris yang sama atau lebih besar dari total derajat kebebasan tersebut. Berdasarkan pertimbangan ini, digunakan matrik orthogonal dengan 12 baris, yang mampu merepresentasikan seluruh kombinasi faktor secara seimbang dan independen.

Pengkodean level faktor dalam matrik orthogonal menggunakan angka 1 dan 2, yang masing-masing merepresentasikan level pertama dan level kedua dari setiap faktor kontrol. Susunan matrik orthogonal untuk eksperimen utama disajikan pada Tabel 4, yang menunjukkan distribusi level faktor secara merata pada setiap percobaan.

Tabel 4. Matrik Orthogonal Eksperimen Utama

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2

12 2 2 1 1 2 1 2 1 2 2 1

Melalui perancangan eksperimen ini, setiap faktor kontrol dapat dianalisis kontribusinya terhadap kestabilan kualitas produk. Pendekatan matrik orthogonal memungkinkan pemisahan pengaruh masing-masing faktor secara sistematis, sehingga kombinasi parameter optimal dapat ditentukan secara objektif berdasarkan hasil eksperimen.

3.3 Pengumpulan Data dan Penetapan Parameter Mesin

Pengumpulan data parameter mesin injeksi sepatu boot air dilakukan melalui observasi langsung terhadap proses produksi, pembacaan data pada panel kontrol mesin, serta diskusi dan brainstorming dengan operator dan bagian engineering. Tahapan ini bertujuan untuk mengidentifikasi parameter-parameter proses yang berpengaruh terhadap kualitas hasil injeksi serta menentukan klasifikasi faktor yang digunakan dalam perancangan eksperimen.

Berdasarkan hasil pengamatan, teridentifikasi 21 parameter yang berpotensi memengaruhi kemampuan injeksi mesin dan kualitas produk. Parameter-parameter tersebut mencakup kondisi mesin, karakteristik material, serta faktor lingkungan kerja. Untuk memudahkan analisis, parameter-parameter tersebut kemudian dievaluasi dan diklasifikasikan berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap proses injeksi, apakah sebagai faktor kontrol atau faktor noise. Daftar lengkap parameter mesin beserta pengaruhnya terhadap kemampuan injeksi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Parameter Mesin dan Pengaruhnya terhadap Kemampuan injeksi

Parameter	Berpengaruh terhadap injeksi	Parameter	Berpengaruh terhadap injeksi
1 Barrel heater I	Y	12 Jam kerja per hari	N
2 Barrel heater II	Y	13 Molding pressure I	Y
3 Chill water	N	14 Molding pressure II	Y
4 Temperatur ruangan	Y	15 Pull back time I	Y
5 Viscosity	N	16 Pull back time II	Y
6 Operator	Y	17 shift kerja	N
7 Bahan baku	Y	18 Load / Unload time	Y
8 Hydraulic water pressure	N	19 Mold close time	Y
9 Hydraulic oil pressure	Y	20 Mixing ratio	Y
10 Injection pressure I	Y	21 Humidity	N
11 Injection pressure II	Y		

Dari hasil klasifikasi tersebut, dipilih 11 parameter yang ditetapkan sebagai faktor kontrol karena dapat diatur secara langsung oleh operator dan memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik mutu produk. Parameter lainnya dikategorikan sebagai

faktor noise karena sulit dikendalikan atau bersifat fluktuatif selama proses produksi. Pemilihan faktor kontrol dan faktor noise ini dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi operasional nyata di lapangan, sehingga hasil perancangan eksperimen tetap relevan dan aplikatif.

Penentuan level untuk masing-masing faktor kontrol didasarkan pada rentang pengaturan yang umum digunakan dalam proses produksi serta batas aman operasi mesin. Level faktor kontrol pada masing-masing shift produksi ditentukan secara terpisah untuk mengakomodasi perbedaan kondisi operasi antara shift I dan shift II. Nilai level faktor kontrol yang digunakan dalam eksperimen ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Faktor Kontrol

Faktor Kontrol	SHIFT I		SHIFT II	
	Level 1	Level II	Level 1	Level II
Barrel Heater I	172 178 178 172	176 182 182 176	174 180 180 174	176 182 182 176
Raw Material	Supplier X	Supplier Y	Supplier X	Supplier Y
Hydraulic Oil Pressure	61 bar	69 bar	59 bar	65 bar
Injection Pressure I	168 bar	117 bar	184 bar	112 bar
Injection Pressure II	84 bar	93 bar	81 bar	90 bar
Molding Pressure I	93 bar	105 bar	98 bar	109 bar
Molding Pressure II	83 bar	91 bar	78 bar	95 bar
Pullback Time I	11 detik	16 detik	13 detik	21 detik
Pullback Time II	5 detik	8 detik	2 detik	9 detik
Mixing Ratio	70/30	80/20	70/20	80/20

3.4 Eksperimen terhadap Faktor Noise dan Analisis Awal

Eksperimen terhadap faktor noise dilakukan untuk mengetahui sejauh mana variasi kondisi lingkungan dan operator memengaruhi kestabilan kualitas hasil injeksi sepatu boot air. Faktor noise dipilih berdasarkan hasil observasi lapangan dan diskusi dengan pihak produksi, dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang sulit dikendalikan namun sering menyebabkan variasi kualitas produk.

Dalam penelitian ini, tiga faktor noise utama digunakan, yaitu temperatur lingkungan kerja, waktu loading dan unloading, serta perbedaan operator. Masing-masing faktor noise ditetapkan pada dua level yang merepresentasikan kondisi operasi minimum dan maksimum yang umum terjadi selama proses produksi. Level faktor *noise* untuk masing-masing shift ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Faktor Noise

Temp. Ruangan (TR) °C	Shift I	Shift II
Level 1	34	32
Level 2	40	36

Load / unload Time (L/U) detik	Shift I	Shift II
Level 1	20/5	22/5
Level 2	22/5	7/11
Operator		
Level 1	Group 1A	Group 2A
Level 2	Group 1B	Group 2B

Perancangan eksperimen faktor *noise* dilakukan menggunakan matrik orthogonal yang sesuai dengan jumlah faktor dan level yang digunakan. Kombinasi perlakuan faktor *noise* dalam eksperimen disajikan pada Tabel 8. Setiap kombinasi perlakuan diuji untuk mengamati pengaruhnya terhadap karakteristik mutu berupa fraction defective pada proses injeksi sepatu boot air.

Tabel 8. Eksperimen Matrik Orthogonal terhadap faktor Noise

	Temperature (°C)	ruangan	Load/Unload time (detik)	Operator (orang)
1	1		1	1
2	1		2	2
3	2		1	2
4	3		2	1

Hasil eksperimen terhadap faktor *noise* pada shift I dan shift II disajikan pada Tabel 9. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa variasi faktor *noise* memberikan pengaruh yang berbeda terhadap tingkat kecacatan produk pada masing-masing shift produksi. Untuk mengevaluasi pengaruh setiap faktor *noise*, dilakukan analisis rata-rata respon (analysis of mean) berdasarkan nilai proporsi produk baik (q).

Tabel 9. Eksperimen terhadap faktor Noise shift I dan shift II

SHIFT I							
	TR(°C)	L/U (detik)	OPR	CACAT	N	P	Q
1	34	20/5	Grup 1A	14	80	0,175	0,825
2	34	8/10	Grup 1B	10	80	0,125	0,875
3	40	20/5	Grup 1B	19	80	0,218	0,762
4	40	8/10	Grup 1A	26	80	,0,325	0,675
SHIFT II							
	TR(°C)	L/U (detik)	OPR	CACAT	N	P	Q
1	32	22/5	Grup 2A	21	80	0,263	0,737
2	32	7/13	Grup 2B	16	80	0,200	0,800
3	36	22/5	Grup 2B	27	80	0,338	0,662

Hasil analisis rata-rata respon untuk masing-masing level faktor *noise* ditunjukkan pada Tabel 10. Analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi kombinasi faktor *noise* dengan kondisi terbaik dan terburuk, serta menjadi dasar dalam perancangan eksperimen utama pada tahap selanjutnya.

Tabel 10. Rata-rata Respon untuk Eksperimen Faktor Noise Shift 1 & Shift II

Shift I				
Faktor	Level	Rata-rata q	The Best	The worst
TR	34 (°C)	0,8500	34 (°C)	40 (°C)
	40 (°C)	0,7185		
L/UL	20/5 detik	0,7935	20/5 detik	8/10 detik
	8/10 detik	0,7750		
OPR	Grup 1A	0,7500	Grup 1B	Grup 1A
	Grup 1B	0,8185		
Shift II				
Faktor	Level	Rata-rata q	The Best	The worst
TR	32 (°C)	0,7685	32 (°C)	36 (°C)
	36 (°C)	0,6810		
L/UL	22/5 detik	0,6995	7/13 detik	22/5 detik
	7/13 detik	0,7500		
OPR	Grup 2A	0,7185	Grup 2B	Grup 2A
	Grup 2B	0,9310		

3.5 Eksperimen Utama dan Analisis *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Eksperimen utama dilakukan untuk menentukan kombinasi faktor kontrol yang menghasilkan proses injeksi sepatu boot air yang paling *robust* terhadap variasi faktor *noise*. Eksperimen ini dirancang berdasarkan matrik orthogonal yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya, dengan mempertimbangkan perbedaan kondisi operasi antara shift I dan shift II.

Pada setiap kombinasi perlakuan eksperimen, dilakukan pengamatan terhadap karakteristik mutu berupa fraction defective. Data hasil eksperimen kemudian digunakan untuk menghitung nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dengan karakteristik smaller-the-better, karena tujuan proses adalah meminimalkan jumlah produk cacat. Analisis SNR digunakan untuk mengevaluasi sensitivitas setiap faktor kontrol terhadap variasi *noise* dan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi signifikan terhadap kestabilan kualitas produk.

Hasil eksperimen utama pada shift I dan shift II disajikan pada Tabel 11, yang menunjukkan jumlah produk cacat pada setiap kombinasi perlakuan. Selanjutnya, nilai proporsi cacat (p) dan proporsi produk baik (q) dihitung untuk masing-masing perlakuan, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 12. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan SNR untuk setiap kombinasi eksperimen.

Tabel 11 Eksperimen Utama Shift I & Shift II

Shift I										Shift II			
A	B	C	J	K	n ₁	n ₂	n_{1}	n_{2}	n_{1}	n_{2}	n_{1}	n_{2}
						Cacat	N	Cacat	N	cacat	N	Cacat	N

1	1	1	1		1	1	23	80	25	80	24	80	17	80
2	1	1	1		2	2	21	80	25	80	12	80	19	80
3	1	1	2		2	2	16	80	19	80	17	80	18	80
4	1	2	1		1	2	0	80	1	80	16	80	7	80
5	1	2	2		2	1	2	80	6	80	19	80	19	80
6	1	2	2	Tabel 3.11	2	1	7	80	14	80	22	80	21	80
7	2	1	2		2	1	12	80	16	80	18	80	10	80
8	2	1	2		1	2	14	80	16	80	8	80	14	80
9	2	1	1		1	1	9	80	16	80	15	80	19	80
10	2	2	2		1	2	24	80	20	80	6	80	9	80
11	2	2	1		2	2	18	80	19	80	8	80	1	80
12	2	2	1		2	1	10	80	12	80	2	80	6	80

Tabel 12 Analisa p q pada shift 1 & Shift II

	A	B	C	.....	J	K	SHIFT I				SHIFT II			
							p.n ₁	p.n ₂	p_bar	q_bar	p.n ₁	p.n ₂	p_bar	q_bar
1	1	1	1		1	1	0,288	0,313	0,301	0,699	0,300	0,213	0.257	0.743
2	1	1	1		2	2	0,263	0,238	0,251	0,749	0,150	0,238	0.194	0.806
3	1	1	2		2	2	0,200	0,225	0,213	0,787	0,213	0,225	0.219	0.781
4	1	2	1		1	2	0	0.013	0,007	0,993	0,200	0.088	0.144	0.856
5	1	2	2		2	1	0,025	0,075	0,050	0,950	0,238	0.238	0.238	0.762
6	1	2	2	Tabel 3.11	1	1	0,088	0,175	0,132	0,868	0,275	0.263	0.269	0.731
7	2	1	2		2	1	0,150	0,125	0,138	0,862	0,225	0.125	0.175	0.825
8	2	1	2		1	2	0,175	0,200	0,188	0,812	0,100	0.175	0.138	0.862
9	2	1	1		1	1	0,113	0,225	0,169	0,831	0,188	0.238	0.213	0.787
10	2	2	2		1	1	0,300	0,250	0,275	0,725	0,238	0.113	0.094	0.906
11	2	2	1		2	2	0,225	0,238	0,232	0,768	0,000	0.013	0.007	0.993
12	2	2	1		2	1	0,125	0,150	0.138	0,862	0,038	0.063	0.051	0.949

Hasil perhitungan nilai SNR untuk masing-masing kombinasi perlakuan ditunjukkan pada Tabel 13. Berdasarkan nilai SNR yang diperoleh, dilakukan analisis kontribusi faktor kontrol untuk menentukan level optimal dari masing-masing faktor. Kombinasi pengaturan faktor kontrol yang menghasilkan nilai SNR tertinggi ditetapkan sebagai kondisi optimal, yang dirangkum pada Tabel 14.

Tabel 13. Analisa SNR pada Shift I dan Shift II

	A	B	C	.....	J	K	SNR Shift I (dB)		SNR Shift II (dB)	
1	1	1	1		1	1	3.699		4.611	
2	1	1	1		2	2	4.748		6.185	
3	1	1	2		2	2	5.676		5.522	
4	1	2	1		1	2	21.519		7.741	
5	1	2	2		2	1	12.788		5.054	
6	1	2	2	Tabel 3,11	1	1	8.179		4.312	
7	2	1	2		2	1	7.956		6.734	
8	2	1	2		1	2	6.354		7.956	
9	2	1	1		1	1	6.917		5.676	
10	2	2	2		1	1	4.210		9.840	



11	2	2	1	2	2	5.199	21.519
12	2	2	1	2	1	7.956	12.697

Tabel 14. Pengaturan Optimal

FAKTOR	SHIFT I				SHIFT II					
A	Level 1 = kombinasi suhu	158	163	163	158	Level 2 = kombinasi suhu	165	170	170	165
B	Level 2 = kombinasi suhu	176	182	182	176	Level 2 = kombinasi suhu	176	182	182	176
C	Level 1 = supplier X				Level 1 = supplier X					
D	Level 2 = 60 bar				Level 2 = 65 bar					
E	Level 2 = 117 bar				Level 1 = 104 bar					
F	Level 2 = 82 bar				Level 2 = 96 bar					
G	Level 2 = 105 bar				Level 1 = 98 bar					
H	Level 2 = 91 bar				Level 1 = 78 bar					
I	Level 1 = 11 detik				Level 1 = 13 detik					
J	Level 1 = 5 detik				Level 2 = 9 detik					
K	Level 2 = 80/20				Level 2 = 80/20					

Analisis menunjukkan bahwa pengaturan parameter mesin yang optimal mampu meningkatkan nilai SNR secara signifikan dibandingkan dengan kondisi awal proses. Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi faktor kontrol yang diusulkan efektif dalam mengurangi pengaruh variasi faktor noise dan meningkatkan kestabilan kualitas injeksi sepatu boot air.

3.6 Evaluasi Performa Optimal dan Eksperimen Pembuktian

Setelah diperoleh kombinasi faktor kontrol optimal berdasarkan analisis Signal to Noise Ratio (SNR), tahap selanjutnya adalah melakukan evaluasi performa dan eksperimen pembuktian (confirmation experiment). Tahapan ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa pengaturan parameter optimal yang diusulkan benar-benar mampu meningkatkan kestabilan kualitas produk pada kondisi produksi nyata.

Eksperimen pembuktian dilakukan dengan mengatur parameter mesin injeksi sepatu boot air sesuai dengan kombinasi optimal yang telah ditentukan pada masing-masing shift produksi. Hasil eksperimen pembuktian kemudian dibandingkan dengan kondisi awal proses sebelum dilakukan optimasi. Perbandingan kondisi awal dan kondisi optimal untuk shift I dan shift II ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15 Perbandingan kondisi awal dengan kondisi Optimal Pada Shift I dan Shift II

SHIFT I						
		Kondisi awal shift I		Kondisi optimal Shift I		Kontribusi (dB)
		Setting	SNR (dB)	Setting	SNR (dB)	
A	Barrel Heater I	A1	9.428	A1	9.428	-
B	Barrel Heater II	B1	5.885	B2	9.975	4,09
C	Raw Material	C1	8.333	C1	8,333	2,622

D	Hydraulic Oil Pressure	D1	6,619	D2	9,241	
E	Injection Pressure I	E1	5,659	D2	10,202	4,543
F	Injection Pressure II	F1	8,496	F1	8,496	
G	Molding Pressure I	G2	0,4522	G2	9,452	
H	Molding Pressure II	H2	9,690	H2	9,960	
I	Pullback Time I	I1	9.579	I1	9,579	
J	Pullback Time II	J2	7,387	J1	9,570	1,086
K	Mixing Ratio	K2	7,951	K2	7,951	

SHIFT II

		Kondisi awal Shift II	Kondisi optimal Shift II	Kontribusi (dB)		
	Setting	SNR (dB)	Setting	SNR (dB)		
A	Barrel Heater I	A1	5.576	A2	10.737	5.161
B	Barrel Heater II	B1	6.114	B2	10.199	4.085
C	Raw Material	C1	9.738	C1	9.738	
D	Hydraulic Oil Pressure	D1	7.724	D2	8.589	0.865
E	Injection Pressure I	E2	7.441	E1	8.872	1.431
F	Injection Pressure II	F1	7.857	F2	8.455	0.598
G	Molding Pressure I	G1	8.703	G1	8.703	
H	Molding Pressure II	H2	6.872	H1	9.441	2.569
I	Pullback Time I	I1	8.936	I1	8.936	
J	Pullback Time II	J1	6.694	J2	9.618	2.924
K	Mixing Ratio	K1	6.519	K2	9.794	3.275

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan pengaturan parameter optimal mampu menurunkan jumlah produk cacat secara signifikan dibandingkan kondisi awal. Nilai SNR yang diperoleh pada kondisi optimal mencapai 21,52 dB pada kedua shift produksi, yang menunjukkan peningkatan performa proses injeksi dan berkurangnya sensitivitas terhadap variasi faktor noise.

Validitas hasil optimasi diperkuat melalui hasil eksperimen pembuktian yang disajikan pada Tabel 16. Nilai SNR hasil pembuktian menunjukkan kesesuaian dengan nilai SNR hasil perancangan, sehingga dapat disimpulkan bahwa kombinasi parameter optimal yang diusulkan bersifat konsisten dan aplikatif. Dengan demikian, metode *robust design* yang diterapkan terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas dan kestabilan proses injeksi sepatu boot air.

Tabel 16 Hasil pengujian experiment pada shift I dan Shift II

	Kondisi	N	Cacat n1	Cacat n2	P	SNR (dB)
Shift I	Optimal	80	0	1	0.007	21.519
	Hasil	80	22	20	0.263	4.475
Shift II	Optimal	80	0	1	0.007	21.519
	hasil	80	8	10	0.112	5.348

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kestabilan kualitas proses injeksi sepatu boot air melalui penerapan metode *robust design* Taguchi dengan mempertimbangkan pengaruh faktor noise. Berdasarkan hasil identifikasi awal, diperoleh sebelas faktor kontrol dan tiga faktor noise yang berpengaruh terhadap karakteristik mutu berupa fraction defective. Hasil perancangan dan pelaksanaan eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan matrik orthogonal mampu mengurangi

jumlah percobaan secara signifikan tanpa mengurangi kemampuan analisis pengaruh faktor. Analisis Signal to Noise Ratio (SNR) dengan karakteristik smaller-the-better menghasilkan kombinasi pengaturan parameter mesin yang optimal dan *robust* terhadap variasi kondisi lingkungan dan operator. Eksperimen pembuktian menunjukkan bahwa penerapan kombinasi parameter optimal mampu menurunkan tingkat kecacatan produk dan meningkatkan nilai SNR hingga mencapai 21,52 dB pada kedua shift produksi. Hasil ini mengindikasikan bahwa proses injeksi menjadi lebih stabil dan kurang sensitif terhadap gangguan faktor noise dibandingkan kondisi awal sebelum optimasi.

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan pengaturan parameter mesin injeksi pada industri sepatu boot air untuk meningkatkan kualitas produk dan efisiensi proses produksi. Selain itu, secara metodologis penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan *robust design* Taguchi efektif diterapkan pada proses manufaktur dengan variasi lingkungan yang tinggi dan keterbatasan jumlah eksperimen.

5. Daftar Pustaka

- Fikri, O. :, Alfian, B., Studi Teknik, P., Fakultas, M., Mesin, T., & Dirgantara, D. (2012). *Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik*. 06(01), 1–10.
- Gravell, B. J., Esfahani, P. M., & Summers, T. H. (2020). Robust control design for linear systems via multiplicative noise. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 7392–7399. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1268>
- Iqbal, M., Umardani, Y., & Suprihanto, A. (2021). Perancangan Desain Cetakan Injection Molding Untuk Pembuatan Insole Sepatu Berbahan Silicone Rubber. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 9(3), 407–416.
- Musdalifah, M., & Malik, R. (2023). Rekayasa Mutu Beton Dengan Menggunakan Metode Taguchi Di Pt. Sucofindo. *Jurnal Aplikasi Dan Pengembangan ...*, 18–26. <https://jurnal.fti.umi.ac.id/index.php/JAPSI/article/view/55>
- Rahmadi, R., Studi, P., Industri, T., Sains, F., Teknologi, D. A. N., Islam, U., Sultan, N., & Kasim, S. (2025). *Perancangan Desain Sepatu Boots Karet Untuk*.
- Sariyildiz, E., Hangai, S., Uzunovic, T., Nozaki, T., & Ohnishi, K. (2021). Stability and Robustness of the Disturbance Observer-Based Motion Control Systems in Discrete-Time Domain. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 26(4), 2139–2150. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2020.3032115>
- Wikipedia. (2022). Uji kekerasan. *Wikipedia*, 11(1), 7–21. https://id.wikipedia.org/wiki/Uji_kekerasan#Lihat_pula
- Wu, F.-C. (2015). Robust Design of Mixing Static and Dynamic Multiple Quality Characteristics. *World Journal of Engineering and Technology*, 03(03), 72–77. <https://doi.org/10.4236/wjet.2015.33c011>
- Wu, F. (2008). Simultaneous Optimization of Robust Design With. *Journal of Industrial Engineering*, 15(2), 231–238.