

Analisis Optimalisasi Pemanfaatan Alumunium dari Sisa Proses Produksi Menjadi Bahan Baku Produksi Dengan Mempertimbangkan Aspek Kualitas, Biaya dan Mutual Benefit Dengan Pihak Ketiga

Kristovel Sihaloho¹, Koswara²

Magister Teknik Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moch. Kahfi II, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Jakarta Selatan, 12630
Email: ¹kristovel27@gmail.com, ²koswara@istn.ac.id

Abstract

PT ABC is a company engaged in the two-wheeled automotive manufacturing industry that wants to optimize the use of aluminum scrap left over from machining production and processing it into raw materials is carried out by third parties or suppliers with quality standards set by PT ABC. However, processed raw materials are the cause of high product defects because the ferrous content is always high. The first stage in reducing the level of disability is to identify the influencing factors. The method used is a fishbone diagram, followed by the Taguchi method to find out the factors that most influence the cause of product defects. From the results of data processing with a fishbone diagram, there are three influential factors. Among these three factors, the factor with the greatest influence is sought which results in product quality deviating from quality standards. From the results obtained it was concluded that product defects were caused by the percentage of ferrous content of 1.15%, while the percentage of application results using the Taguchi method was 0.09%. Decreasing the percentage of ferrous content affects product quality improvement, lower production raw material purchase costs and mutual benefits with third parties.

Abstrak

PT ABC merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri manufaktur otomotif roda dua yang ingin mengoptimalkan penggunaan scrap aluminium sisa produksi machining dan pengolahan menjadi material bahan baku dilakukan di pihak ketiga atau supplier dengan standar kualitas yang telah ditentukan oleh PT ABC. Namun bahan baku olahan menjadi penyebab tingginya cacat produk karena kadar ferro yang selalu tinggi. Tahapan pertama dalam menurunkan tingkat kecacatan adalah melakukan identifikasi faktor-faktor yang berpengaruh. Metode yang digunakan adalah fishbone diagram, kemudian dilanjutkan dengan metode Taguchi untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap penyebab cacat produk. Dari hasil pengolahan data dengan fishbone diagram terdapat tiga faktor yang berpengaruh. Diantara ke tiga faktor tersebut dicari faktor dengan pengaruh terbesar yang mengakibatkan kualitas produk menyimpang terhadap standar kualitas. Dari hasil yang diperoleh disimpulkan bahwa cacat produk disebabkan karena presentase kadar ferro sebesar 1.15%, sedangkan presentase hasil aplikasi dengan menggunakan metode Taguchi menjadi 0,09%. Penurunan persentase kadar ferro mempengaruhi peningkatan kualitas produk, turunnya biaya pembelian bahan baku produksi dan mutual benefit dengan pihak ketiga.

Kata kunci: *Optimalisasi Scrap Aluminium, Fishbone Diagram, Metode Taguchi*

1. PENDAHULUAN

PT ABC merupakan perusahaan industri manufaktur otomotif yang memproduksi dan merakit sepeda motor sejak tahun 1948 di Jepang, dan masuk ke Indonesia pada tahun 1960. Dalam produksinya, salah satu bahan baku material utama yang digunakan adalah

aluminium, namun untuk kondisi kebutuhan material aluminium di Indonesia tidak seimbang dengan produksi yang dihasilkan di dalam negeri meskipun Indonesia adalah salah satu negara penghasil bauksit terbesar di dunia yaitu 1,2 miliar ton per tahun. Hal ini menjadi ironi, karena impor aluminium Indonesia sejak

2013-2019 selalu mengalami kenaikan, sehingga menyebabkan ongkos produksi meningkat beberapa kali lipat. Sehingga PT ABC membuat inisiatif untuk menggunakan *scrap* aluminium dari sisa hasil produksi *machining* yang di daur ulang kembali menjadi ingot aluminium sebagai bahan baku utama produksi. Tetapi material daur ulang tersebut masih memiliki kerentanan karena memiliki kadar ferro yang tinggi, yang disebabkan karena *scrap* aluminium tercampur *scrap* ferro pada saat produksi part yang dilakukan di *machining*.

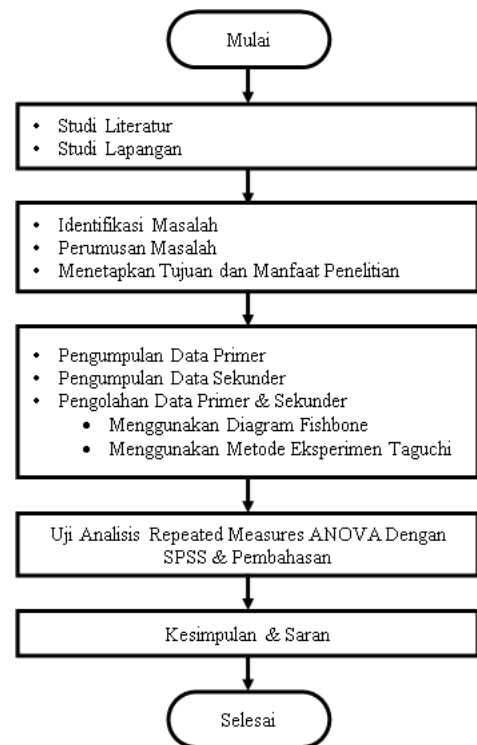
Akibat permasalahan kadar ferro yang meningkat pada material bahan baku daur ulang, maka di tahun 2020 PT ABC mengalami peningkatan kecacatan produk yaitu sebesar 48.798 pcs atau sebesar 3,5% dari nilai toleransi caat 0,5% yang di izinkan, hal tersebut terutama terjadi pada part yang menggunakan material bahan baku daur ulang aluminium HD2. Jenis cacat *flowline* adalah cacat yang paling besar menyumbang tingginya penyebab persentase cacat produk meningkat, hal ini dikarenakan pada material bahan baku produksi, kadar ferro tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan, yaitu dengan nilai kadar ferro 1,15% dari standar yang seharusnya yaitu 0,09% sehingga berdampak pada saat proses produksinya menyebabkan dinding part tidak menyatu pada saat proses cetakan terjadi di dies, dan menimbulkan kerutan atau bekas aliran pada produknya. Adapun cacat *flowline* dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Cacat *Flowline* Pada Part

2. METODE PENELITIAN

Pada poin ini akan dijelaskan tahapan sistematis dalam pemecahan masalah dan menentukan bagaimana sistem akan dibangun. Dengan adanya metodologi ini, maka tahapan pemecahan masalah dapat dilaksanakan secara terstruktur. Gambar 2 berikut ini adalah tahapan penelitian yang dilakukan:



Gambar 2. Diagram Alir Metode Penelitian

Tahapan pertama yang dilakukan adalah dengan mengidentifikasi masalah yang terjadi di PT ABC, lalu melihat sumber-sumber dari penelitian terdahulu, merumuskan masalah, selanjutnya menetapkan tujuan dan manfaat dari penelitian yang akan dilakukan. Tahap ke dua yaitu pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer didapatkan langsung dari data-data yang diperoleh dari *System Application and Product (SAP) in Data Processing* atau *software* yang berbasis *Enterprise Resources Planning (ERP)* dari tahun 2020 sampai dengan tahun 2022, yaitu berupa jumlah produksi, data *reject* produksi part crank case, hasil wawancara

langsung kepada *Quality Control* di *line* produksi dan pihak-pihak terkait yang berhubungan kepada penelitian ini secara langsung, sedangkan data sekunder yang didapatkan adalah dokumentasi perusahaan yang menunjang dan menguatkan penelitian ini. Tahap ketiga adalah pengolahan data, langkah-langkahnya yaitu dengan mengidentifikasi faktor-faktor penyebab menggunakan *fishbone* diagram, lalu dilanjutkan menggunakan metode Taguchi. Sehingga menghasilkan komposisi bahan baku aluminium daur ulang yang optimal, dan yang akan mempengaruhi turunnya tingkat kecacatan dan berdampak pada kualitas, efisiensi biaya dan *mutual benefit* dengan pihak ketiga yang melakukan pengolahan *scrap* aluminium daur ulang.

2.1 Diagram Tulang Ikan (*Fishbone*)

Diagram tulang ikan atau *fishbone* diagram adalah salah satu metode/*tool* di dalam meningkatkan kualitas. Sering juga diagram ini disebut dengan diagram Sebab-Akibat atau *cause effect* diagram. Penemunya adalah seorang ilmuwan Jepang pada tahun 60-an. Bernama Dr. Kaoru Ishikawa, ilmuwan kelahiran 1915 di Tokyo Jepang yang juga alumni teknik kimia Universitas Tokyo. Sehingga sering juga disebut dengan diagram Ishikawa. Manfaat diagram *fishbone* antara lain adalah:

1. Dapat menggunakan kondisi yang sesungguhnya untuk tujuan perbaikan kualitas produk atau jasa, lebih efisien dalam penggunaan sumber daya, dan dapat mengurangi biaya.
2. Dapat mengurangi dan menghilangkan kondisi yang menyebabkan ketidaksesuaian produk atau jasa dan keluhan pelanggan.
3. Dapat membuat sesuatu standardisasi operasi yang ada maupun yang direncanakan.
4. Dapat memberikan pendidikan dan pelatihan bagi karyawan dalam kegiatan pembuatan keputusan dan melakukan tindakan perbaikan.

2.2 Metode Taguchi

Taguchi, G. 1949, mencetuskan metode Taguchi yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses. Bukan hanya itu, metode tersebut juga bertujuan untuk menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Metode Taguchi menggunakan matriks khusus yang disebut Matriks Ortogonal atau *Orthogonal Array* (OA). Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal. Bagian terpenting dari Matriks Ortogonal terletak pada pemilihan kombinasi level variabel input masing-masing eksperimen. Karakteristik kualitas adalah hasil suatu proses yang berkaitan dengan kualitas produk yang melalui proses tersebut. Menurut Taguchi, karakteristik kualitas yang terukur dapat dibagi menjadi tiga kategori:

1. *Nominal is the best*, yaitu karakteristik kualitas yang menuju suatu nilai target yang tepat pada suatu nilai tertentu.
2. *Smaller the better*, yaitu pencapaian karakteristik apabila semakin kecil (mendekati nol; nol adalah nilai ideal dalam hal ini) semakin baik.
3. *Larger the better*, adalah pencapaian karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (tak terhingga sebagai nilai idealnya).

2.3 Langkah-langkah Metode Taguchi

Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut (Ross, 1996):

1. Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya dan secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan.
2. Tujuan yang melandasi percobaan harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati.
3. Memilih karakteristik kualitas atau respon yang akan dioptimasi (variabel tak bebas), dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselediki.

4. Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (variabel bebas), pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselediki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselediki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks.
5. Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol, di dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (control factors) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (noise factors) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.
6. Penentuan jumlah level dan nilai faktor: Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan ongkos percobaan.
7. Identifikasi interaksi antar faktor kontrol, yaitu interaksi yang muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuan proses yang optimal. Tetapi metode Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada penyebab utama sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan, sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.
8. Pemilihan Orthogonal Array (OA), dimana dalam memilih jenis OA harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati, yaitu:
 - Jika semua faktor adalah dua level: pilih jenis OA untuk level dua faktor.
 - Jika semua faktor adalah tiga level: pilih jenis OA untuk level tiga faktor.
 - Jika beberapa faktor adalah dua level dan lainnya tiga level: pilih yang mana yang dominan dan gunakan Dummy Treatment, Metode Kombinasi, atau Metode *Idle Column*.
 - Jika terdapat campuran dua, tiga, atau empat level faktor: lakukan modifikasi OA dengan metode *Merging Column*.
9. Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada OA yaitu penugasan faktor-faktor, baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada OA yang terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut.
10. Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.
 - Jumlah Replikasi: Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi bertujuan untuk: 1) Mengurangi tingkat kesalahan percobaan, 2) Menambah ketelitian data percobaan, dan 3) Mendapatkan harga estimasi kesalahan percobaan sehingga

memungkinkan diadakan test signifikansi hasil eksperimen.

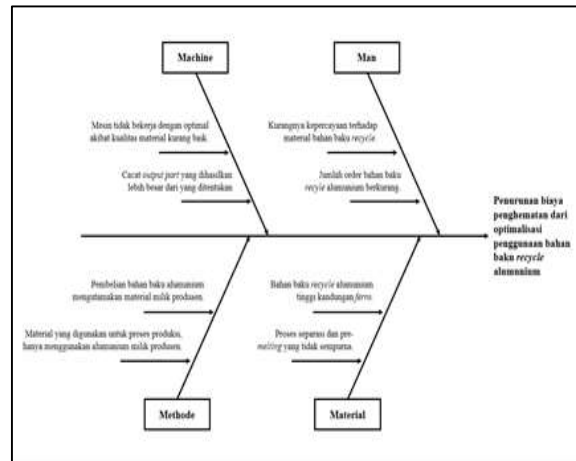
- Randomisasi: Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk: 1) Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan, 2) Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama, dan 3) Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (independen) satu sama lain.

Pelaksanaan percobaan Taguchi adalah pengerjaan berdasarkan penyetelan faktor pada OA dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi. Proses percobaan dilakukan dengan mengumpulkan data respon sebanyak jumlah baris pada matriks OA yang telah dipilih.

11. Pada tahap analisis data, yang dilakukan adalah pengumpulan dan pengolahan data yang meliputi; pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih.
12. Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis telah dilakukan.
13. Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi:
 - Dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya,
 - Setting parameter (faktor) yang optimum hasil analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan analisis untuk menentukan matriks orthogonal yang akan digunakan, terlebih dahulu menentukan faktor-faktor kontrol. Faktor-faktor kontrol dilakukan dengan menggunakan diagram sebab akibat (*fishbone diagram*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut:



Gambar 3. Diagram Fishbone

Adapun faktor-faktor kontrol yang ditetapkan antara lain adalah: persentase kadar ferro (A), temperatur proses injeksi (B), dan jumlah runner gate dies (C). Level faktor yang digunakan adalah 3 level dengan 3 faktor seperti yang di gambarkan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Matriks Ortogonal $L_9(3^3)$			
Eksperimen	1	2	3
a. Komposisi Ferro (%)	0.7	0.9	1.1
b. Suhu Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	620	650	680
c. Jumlah Runner Gate (Unit)	6	7	8

Orthogonal array yang dipilih yaitu $L_9(3^3)$, dengan bentuk matriks seperti pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Matriks Eksperimen *Orthogonal Array*

Matriks Ortogonal $L_9(3^4)$				
Eksperimen	1	2	3	
1	1	1	1	
2	1	2	2	
3	1	3	3	
4	2	1	2	
5	2	2	3	
6	2	3	1	
7	3	1	3	
8	3	2	1	
9	3	3	2	

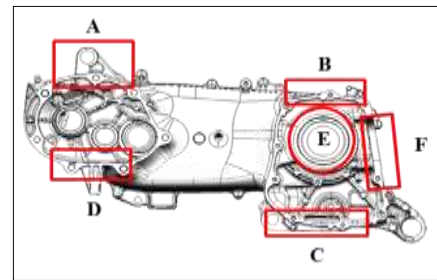
Selanjutnya pada tabel 3 di bawah ini adalah tabel yang menunjukkan hasil *sample* eksperimen secara *random* menggunakan aplikasi SPSS yang akan di uji untuk mendapat kualitas ketebalan part yang paling optimum.

Tabel 3. Sample Eksperimen Uji Ketebalan Part

	Card ID	Persentase Ferro	Derajat Temperatur	Jumlah Gate
1	1	1,1	680	6
2	2	0,7	650	8
3	3	1,1	620	8
4	4	0,7	680	7
5	5	0,9	680	8
6	6	1,1	650	7
7	7	0,9	650	6
8	8	0,9	620	7
9	9	0,7	620	6

Selanjutnya dengan menggunakan Tabel 4 di atas, dilakukan eksperimen dengan cara bertahap, lalu dari masing-masing tahapan pelaksanaan eksperimen, diambil 1 pcs masing-masing *part* dari 9 *parts* yang di uji untuk dilakukan pengecekan tebal dinding part crank case di titik-titik bagian yang telah ditentukan, adapun titik-titik bagian yang akan dilakukan pengukuran ketebalan dindingnya, adalah sebagai berikut:

- Sirip Mission Atas
 - Sirip Slide Core
 - Sirip Bak Oli
 - Face Over Slide
 - Join Face Crank Case
 - Sirip Mission Bawah
- Titik pada poin a sampai f, dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Titik Bagian Pengukuran Ketebalan Dinding Part

Tabel 4 selanjutnya menunjukkan hasil percobaan yang diperoleh dengan cara melakukan percobaan dan setting dies yang berhubungan dengan ketiga faktor yang sebelumnya dibuat sesuai dengan matriks kombinasi level factor. Hal tersebut dilakukan untuk memperoleh nilai taksiran yang lebih akurat mengenai efek dari suatu faktor.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Ketebalan Dinding Part

Dinding Part		Eksperimen								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	Sirip Mission Atas	2,28	2,60	2,31	2,65	2,57	2,32	2,27	2,38	2,81
B	Sirip Slide Core	2,30	2,62	2,33	2,67	2,59	2,44	2,29	2,40	2,83
C	Sirip Bak Oli	2,29	2,61	2,32	2,66	2,58	2,43	2,28	2,39	2,82
D	Face Over Slide	2,30	2,62	2,33	2,67	2,59	2,44	2,29	2,40	2,83
E	Join Face Crank Case	2,33	2,55	2,27	2,60	2,52	2,37	2,33	2,34	2,76
F	Sirip Mission Bawah	2,34	2,56	2,28	2,61	2,50	2,38	2,23	2,35	2,77

Berdasarkan hasil eksperimen pada tabel 4 di atas, selanjutnya dilakukan uji normalitas dengan menggunakan SPSS, hal ini bertujuan untuk menguji perbedaan secara nyata (signifikan) dari berbagai hasil pengukuran yang dilakukan berulang-ulang pada suatu variable penelitian. Hasil dari uji normalitas dapat dilihat pada tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5. Analisis Uji Normalitas

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for EKSPERIMEN_1	,278	6	,158	,938	6	,421
Standardized Residual for EKSPERIMEN_2	,252	6	,200 [*]	,931	6	,111
Standardized Residual for EKSPERIMEN_3	,252	6	,200 [*]	,931	6	,111
Standardized Residual for EKSPERIMEN_4	,252	6	,200 [*]	,931	6	,111
Standardized Residual for EKSPERIMEN_5	,205	6	,138	,921	6	,001
Standardized Residual for EKSPERIMEN_6	,254	6	,200 [*]	,973	6	,239
Standardized Residual for EKSPERIMEN_7	,237	6	,200 [*]	,933	6	,062
Standardized Residual for EKSPERIMEN_8	,218	6	,200 [*]	,956	6	,104
Standardized Residual for EKSPERIMEN_9	,218	6	,200 [*]	,956	6	,104

^a. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Karena nilai signifikan (Sig.) untuk semua variabel Standardized Residual nilainya adalah $> 0,05$ maka dapat disimpulkan bahwa data hasil pengujian ketebalan pada dinding part crank case dengan 9 eksperimen, adalah normal. Dengan demikian analisis data untuk penelitian ini dapat dilakukan dengan metode statistik parametrik dengan Uji Repeated Measure ANOVA.

Pada tahap selanjutnya digunakan *Tests of Within Subjects Effects* untuk menentukan uji pengukuran berulang (*repeated measures*) terhadap ketebalan dinding part yang diuji, seperti yang ditampilkan pada tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Analisis *Test of Within Subject Effects*.

Measure: KETEBALAN						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
JUMLAH_EKSPERIMEN	Spherically Assumed	1,642	8	,205	426,732	,000
	Greenhouse-Geisser	1,642	1,882	,968	426,732	,000
	Hayth-Feldt	1,642	3,889	,545	426,732	,000
	Lower bound	1,642	1,889	1,642	426,732	,000
Error (JUMLAH_EKSPERIMEN)	Spherically Assumed	,019	40	,000		
	Greenhouse-Geisser	,019	8,481	,002		
	Hayth-Feldt	,019	15,847	,001		
	Lower bound	,019	5,889	,004		

Output dari analisis *Test of Within Subject Effects* adalah bertujuan untuk membuktikan apakah hipotesis diterima atau ditolak. Adapun rumus dari hipotesis tersebut adalah:

- Ho, hipotesis ini menyatakan tidak ada perbedaan antara eksperimen 1 sampai dengan eksperimen 9 terhadap hasil ketebalan dinding part.
- Ha, hipotesis ini menyatakan adanya perbedaan yang di dapatkan pada eksperimen 1 sampai dengan eksperimen 9 terhadap hasil eksperimen yang dilakukan.

Untuk menentukan hipotesis penelitian diatas, maka digunakan nilai *Greenhouse-Geisser Sig.* yang terdapat pada tabel 6 di atas, jika nilai *Greenhouse-Geisser Sig.* lebih dari 0,05 maka Ho diterima dan Ha ditolak. Namun jika nilai *Greenhouse-Geisser Sig.* lebih kecil dari 0,05 maka Ho ditolak dan Ha diterima.

Output pada *Tests of Within Subjects Effects* pada tabel 6 diatas, diketahui nilai

Greenhouse-Geisser Sig. adalah 0,000 atau lebih kecil dari 0,05 maka dari itu dapat disimpulkan bahwa hipotesis ini menyatakan adanya perbedaan yang di dapatkan pada eksperimen 1 sampai dengan eksperimen 9 terhadap hasil eksperimen yang dilakukan, pada ketebalan dinding part.

Langkah pengujian selanjutnya adalah dengan menggunakan metode *Pairwise Comparison* atau metode pengujian sederhana yang berfungsi untuk melakukan penilaian mengenai perbedaan antara dua variabel atau lebih. Maka selanjutnya untuk mendapatkan hasil pengujian yang paling optimum dari 9 eksperimen yang telah dilakukan, adalah dengan menggunakan analisis *Pairwise Comparisons* dengan hasil pengujian tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7. Analisis *Pairwise Comparison*

Measure: KETEBALAN									
(I) JUMLAH_EKSPERIMEN		(J) JUMLAH_EKSPERIMEN		Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval for Difference ^a			
						Lower Bound	Upper Bound		
1	2	2	3	,287	,021	,001	,573		
	3		4	,181	,021	,000	,362		
	4		5	,331	,021	,001	,661		
	5		6	,262	,026	,001	,524		
	6		7	,380	,022	,001	,760		
	7		8	,342	,026	,000	,684		
	8		9	,350	,019	,010	,701		
	9		10	,380	,018	,000	,761		
	10		11	,287	,021	,001	,573		
2	3	3	4	,210	,008	,000	,420		
	4		5	,300	,008	,000	,600		
	5		6	,380	,005	,010	,660		
	6		7	,181	,017	,001	,362		
	7		8	,300	,003	,000	,600		
	8		9	,217	,003	,000	,434		
	9		10	,287	,003	,000	,573		
	10		11	,181	,021	,000	,362		
	11		12	,210	,008	,000	,420		
3	4	4	5	,180	,000	,000	,360		
	5		6	,240	,000	,000	,480		
	6		7	,421	,017	,000	,841		
	7		8	,330	,003	,000	,660		
	8		9	,421	,003	,000	,841		
	9		10	,481	,003	,000	,961		
	10		11	,330	,003	,000	,660		
	11		12	,240	,000	,000	,480		
	12		13	,180	,000	,000	,360		
4	5	5	6	,000	,000	,000	,000		
	6		7	,180	,000	,000	,360		
	7		8	,360	,000	,000	,720		
	8		9	,540	,000	,000	,1080		
	9		10	,720	,000	,000	,1440		
	10		11	,900	,000	,000	,1800		
	11		12	,1080	,000	,000	,2160		
	12		13	,1440	,000	,000	,2880		
	13		14	,1800	,000	,000	,3600		
5	6	6	7	,250	,005	,001	,500		
	7		8	,375	,001	,000	,750		
	8		9	,500	,001	,000	,1000		
	9		10	,625	,000	,000	,1250		
	10		11	,750	,000	,000	,1500		
	11		12	,875	,000	,000	,1750		
	12		13	,1000	,000	,000	,2000		
	13		14	,1250	,000	,000	,2500		
	14		15	,1500	,000	,000	,3000		
6	7	7	8	,300	,003	,001	,600		
	8		9	,450	,001	,000	,900		
	9		10	,600	,000	,000	,1200		
	10		11	,750	,000	,000	,1500		
	11		12	,900	,000	,000	,1800		
	12		13	,1050	,000	,000	,2100		
	13		14	,1200	,000	,000	,2400		
	14		15	,1350	,000	,000	,2700		
	15		16	,1500	,000	,000	,3000		
7	8	8	9	,350	,002	,001	,700		
	9		10	,500	,001	,000	,1000		
	10		11	,650	,000	,000	,1300		
	11		12	,800	,000	,000	,1600		
	12		13	,950	,000	,000	,1900		
	13		14	,1100	,000	,000	,2200		
	14		15	,1250	,000	,000	,2500		
	15		16	,1400	,000	,000	,2800		
	16		17	,1550	,000	,000	,3100		
8	9	9	10	,400	,001	,000	,800		
	10		11	,550	,000	,000	,1100		
	11		12	,700	,000	,000	,1400		
	12		13	,850	,000	,000	,1700		
	13		14	,1000	,000	,000	,2000		
	14		15	,1150	,000	,000	,2300		
	15		16	,1300	,000	,000	,2600		
	16		17	,1450	,000	,000	,2900		
	17		18	,1600	,000	,000	,3200		
9	10	10	11	,450	,000	,000	,900		
	11		12	,600	,000	,000	,1200		
	12		13	,750	,000	,000	,1500		
	13		14	,900	,000	,000	,1800		
	14		15	,1050	,000	,000	,2100		
	15		16	,1200	,000	,000	,2400		
	16		17	,1350	,000	,000	,2700		
	17		18	,1500	,000	,000	,3000		
	18		19	,1650	,000	,000	,3300		

Based on estimated marginal means.
*. The mean difference is significant at the .05 level.
b. Adjusted for multiple comparisons: Bonferroni.

Berdasarkan tabel 7 di atas, maka perbandingan antara eksperimen yang satu dengan eksperimen yang lainnya, adalah sebagai berikut:

1. Komposisi eksperimen 1, dengan kadar ferro sebesar 1,1%, dengan temperatur 680°C, dan jumlah runner gate sebanyak 6 gate, hasilnya adalah rata-rata ketebalan dinding part sebesar 2,3 mm atau lebih tipis dari standar yang ditetapkan yaitu sebesar 2,5 mm. Hasil uji ketebalan dari eksperimen ini adalah lebih tipis dari eksperimen 2, 3, 4, 5, 6, 8 dan lebih besar dari eksperimen 7 dan 9.
2. Komposisi eksperimen 2, dengan kadar ferro sebesar 0,7%, dengan temperatur 650°C, dan jumlah runner gate sebanyak 8 gate, hasilnya adalah rata-rata ketebalan dinding part sebesar 2,6 mm atau lebih besar dari standar yang ditetapkan yaitu sebesar 2,5 mm. Hasil uji ketebalan dari eksperimen ini adalah lebih tipis dari eksperimen 2, 3, 4, 5, 6, 8 dan lebih besar dari eksperimen 7 dan 9.
3. Komposisi eksperimen 3, dengan kadar ferro sebesar 1,1%, dengan temperatur 620°C, dan jumlah runner gate sebanyak 8 gate, hasilnya adalah rata-rata ketebalan dinding part sebesar 2,3 mm atau lebih kecil dari standar yang ditetapkan yaitu sebesar 2,5 mm. Hasil uji ketebalan dari eksperimen ini adalah lebih tipis dari eksperimen 1,2, 4, 5, 6, 8 dan 9, dan lebih besar dari eksperimen 7.
4. Komposisi eksperimen 4, dengan kadar ferro sebesar 0,7%, dengan temperatur 680°C, dan jumlah runner gate sebanyak 7 gate, hasilnya adalah rata-rata ketebalan dinding part sebesar 2,65 mm atau lebih besar dari standar yang ditetapkan yaitu sebesar 2,5 mm. Hasil uji ketebalan dari eksperimen ini lebih tipis dari eksperimen 9.
5. Komposisi eksperimen 5, dengan kadar ferro sebesar 0,9%, dengan temperatur 680°C, dan jumlah runner gate sebanyak 8 gate, hasilnya adalah

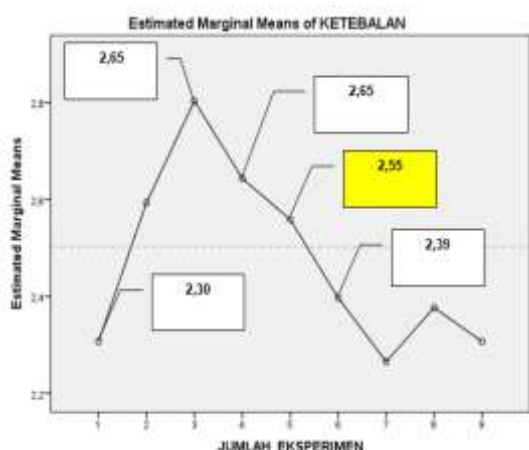
rata-rata ketebalan dinding part sebesar 2,55 mm atau lebih besar dari standar yang ditetapkan yaitu sebesar 2,5 mm namun hanya terdapat selisih 0,05 mm. Hasil uji ketebalan dari eksperimen ini lebih tipis dari eksperimen 7 dan 8, yang menggunakan jumlah gate lebih sedikit dan temperatur lebih rendah.

6. Komposisi eksperimen 6, dengan kadar ferro sebesar 1,1%, dengan temperatur 650°C, dan jumlah runner gate sebanyak 7 gate, hasilnya adalah rata-rata ketebalan dinding part sebesar 2,39 mm atau lebih tipis dari standar yang ditetapkan sebesar 2,5 mm. Hasil uji ketebalan dari eksperimen ini lebih tebal dari eksperimen 1 dan 3, yang menggunakan material aluminium dengan kadar ferro sebesar 1,1%.
7. Komposisi eksperimen 7, dengan kadar ferro sebesar 0,9%, dengan temperatur 650°C, dan jumlah runner gate sebanyak 6 gate, hasilnya adalah rata-rata ketebalan dinding part sebesar 2,26 mm atau yang paling tipis dari semua hasil uji ketebalan.
8. Komposisi eksperimen 8, dengan kadar ferro sebesar 0,9%, dengan temperatur 620°C, dan jumlah runner gate sebanyak 7 gate, hasilnya adalah rata-rata ketebalan dinding part sebesar 2,37 mm atau lebih tipis dari standar yang ditetapkan sebesar 2,5 mm.
9. Komposisi eksperimen 9, dengan kadar ferro sebesar 0,7%, dengan temperatur 620°C, dan jumlah runner gate sebanyak 6 gate, hasilnya adalah rata-rata ketebalan dinding part sebesar 2,8 mm atau lebih besar dari standar yang ditetapkan sebesar 2,5 mm. Hasil uji ketebalan dari eksperimen ini adalah yang paling tebal dari semua eksperimen.

Oleh karena itu berdasarkan output menggunakan analisis *Pairwise Comparison*, dapat disimpulkan bahwa komposisi pada eksperimen nomor 5 adalah

kondisi faktor-faktor yang dapat case paling optimum, faktor-faktor tersebut yaitu sebagai berikut:

- Komposisi ferro sebesar 0,9% sebagai kesepakatan dengan penyesuaian komposisi *ferro* tersebut pada bahan baku material aluminium daur ulang yang diolah di PT 123 sebagai *supplier* PT ABC.
- Jumlah *runner gate* sebanyak 8 *gate*, yaitu bertujuan untuk mengoptimalkan aliran pada *cavity dies*, terutama pada *gate* yang mengalirkan cairan molten di area bak oli untuk menambah optimalisasi laju aliran cairan molten di area tersebut, sehingga berdampak kepada hasil ketebalan dinding part yang paling optimum, dan untuk dapat menghasilkan part dengan ketebalan dinding part sesuai dengan standar, yaitu 2,5 mm.
- Nilai optimum ketebalan dinding part dapat dilihat pada gambar 5 dari output *Profile Plots* di bawah ini, dimana berdasarkan 9 eksperimen yang telah dilakukan, maka eksperimen nomor 5 adalah komposisi yang paling optimum dengan standar ketebalan dinding part untuk part, adalah 2,5 mm.



Gambar 5. Profile Plots Eksperimen Pengujian Ketebalan Dinding.

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan di PT ABC terhadap pengukuran

ketebalan dinding part yang menjadi penyebab terjadinya cacat *flowline*, dan berdasarkan analisis yang dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi dan repeated measures ANOVA dengan SPSS, maka didapatkan hasil yang paling optimum terhadap 3 faktor yang mempengaruhi kualitas pada part adalah eksperimen 5 dengan komposisi faktor-faktornya adalah sebagai berikut pada tabel 8 di bawah ini:

Tabel 8. Komposisi Paling Optimum Pada Eksperimen Nomor 5

Persentase Ferro	Derajat temperatur	Jumlah Gate	A	B	C	D	E	F
0,9	680	8	2,57	2,59	2,58	2,59	2,52	2,50

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka penggunaan bahan baku material ingot aluminium dari *recycle scrap* dari pihak ketiga dapat digunakan sebagai bahan baku produksi, namun untuk menghasilkan *part* hasil produksi yang paling optimal harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut ini:

- Komposisi kadar ferro sebesar 0,9%.
- Temperatur sebesar 680°C.
- Jumlah *runner gate* pada *cavity dies* sebanyak 8 *gate*.

Sehingga material tersebut akan tetap menghasilkan ketebalan pada dinding part yang sesuai dengan standar desain dari PT ABC dan mengurangi bahkan menghilangkan potensi terjadinya cacat *flowline* pada part yang di produksi menggunakan bahan baku material ingot aluminium dari *recycle scrap*.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengolahan data, eksperimen dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat dibuatkan kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

- Bahan baku material aluminium yang diolah dari *recycle scrap* dapat digunakan sebagai bahan baku material pembuatan part, dan dapat menghasilkan kondisi serta kualitas yang optimal dengan memperhatikan hal-hal berikut:

- a. Komposisi kadar ferro sebesar 0,9%.
 - b. Suhu temperatur sebesar 680°C.
 - c. Jumlah runner gate pada cavity dies sebanyak 8 gate.
- Sehingga kualitas part yang dihasilkan tetap terjaga kualitasnya dan menekan angka reject dari tahun 2020 sebesar 3,5% atau sebesar 48.798 pcs, menjadi sebesar 0,5% atau sebesar 8.538 pcs di tahun 2022.
2. PT ABC dapat meningkatkan efisiensi pembelian material ingot aluminium pada tahun 2022 dengan melakukan optimalisasi material ingot aluminium *recycle scrap*, jika dibandingkan dengan tahun 2021 maka efisiensi yang dapat dilakukan adalah sebesar 1,5% atau sebesar Rp 12.820.996.545 (dua belas milyar delapan ratus juta rupiah).
 3. Pembelian bahan baku material yang di daur ulang untuk bahan baku produksi, dan yang dilakukan dengan di pihak ketiga dengan mengacu kepada standar komposisi ferro yang sesuai dengan hasil pengujian, disepakati oleh PT ABC dan PT 123, sehingga dapat memberikan *opportunity* bagi PT ABC dan PT 123 (*mutual benefit*) dalam melanjutkan kerjasama di bidang pengolahan *scrap* aluminium sisa produksi.

Adapun saran yang dapat disampaikan adalah agar pemerintah khususnya kementerian perindustrian agar dapat memperhatikan *opportunity* pada bisnis pengolahan *scrap* aluminium, baik untuk industri berskala kecil maupun industri berskala besar, hal ini menjadi sangat penting mengingat kepada prediksi kelangkaan *import* aluminium dan kenaikan harga yang akan terus bertambah di tahun 2023 dan ke depannya yang berdampak dari konflik geopolitik dan perang antar negara-negara penghasil bauksit terbesar di dunia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bilal, M, 1996, Pengaruh Paduan Silikon Dalam Alumunium Terhadap Kekerasan Pada Piston, Skripsi, Universitas Muhammadiyah Jakarta
- [2] Dieter, G. E., 1987, Metalurgi Mekanik: Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta
- [3] Djoko W. Karmiadi (2003), Pengujian Karakteristik Komponen Mesin Sepeda Motor, Laporan Akhir, Teknologi Rancang Bangun dan Rekayasa, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- [4] Hari Amanto dan Daryanto, Ilmu Bahan, Cetakan Kedua, PT. Bumi Aksara, Jakarta, 2003
- [5] Hidayattullah, A. S, 2010, Analisis Pengaruh Proses Oversize Piston Terhadap Kinerja Motor dan Pengujian Ketahanan Mekanik Piston Dengan Menggunakan Perangkat Lunak CATIA V5R14, Universitas Gunadarma, Depok
- [6] Kenji, C., 1975, Teknik Pengecoran Logam, Penerbit Pradya, Jakarta
- [7] Nurhadi, 2010, Studi Karakteristik Material Piston dan Pengembangan Protoipe Piston Berbasis Limbah Piston Bekas, Tesis Program Magister, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [8] Shankar, Sumanth and Diran Apelian. Die Soldering: Mechanism of the Interface Reaction Between Molten Aluminum Alloy and Tool Steel. *Metallurgical and Materials Transactions* Vo. 33B (2002) 46
- [9] Smallman, R.E., 1985, "Metalurgi Fisik Modern", Gramedia, Jakarta, hal. 347
- [10] Soeyanto, I., 2009, Desain Eksperimen dengan Metoda Taguchi, Graha ilmu
- [11] Solechan, 2010, Studi Pembuatan Prototipe Material Piston Menggunakan Limbah Piston Bekas dan ADC 12 Yang Diperkuat Dengan Insert ST 60 dan Besi Cor, Tesis Program Magister, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [12] Sriati Djapire, 1991, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta.
- [13] Stephen Chastain., 2004., Making piston for experiment and restoration engines., ISBN 0-9702203-4

- [14] Suhariyanto, 2002., Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC
- [15] Suparjo, 2011, Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Pulley Hasil Coran Dengan Bahan Tambah Piston Bekas, Jurnal Teknik, Vol. 32 No.1.
- [16] Surdia, Tata dan Saito, Shinroku, 2005 Pengetahuan Bahan Teknik, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [17] Surdia, Tata, 1971, Ilmu Logam 1, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- [18] T., 2005, Analisis Keausan Pada Dinding Silinder Mesin Diesel, Jurnal Media Mesin Vol. 6 No 2.
- [19] Wardoyo, J. T., 2012, Pengaruh Temperatur Cetakan Terhadap Kekerasan Pada Pengecoran HPDC HD2 Untuk Bahan Komponen Otomotif, Politeknik Negeri Semarang, Semarang.