PENGENDALIAN VARIASI PROSES PRODUKSI *FRAME* DENGAN METODE *STATISTICAL QUALITY CONTROL* UNTUK MENURUNKAN *DEFECT RATE* PADA INDUSTRI FABRIKASI KAROSERI KENDARAAN

1st Muhammad Rizky Fauzi
Departemen of Industrial Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
rizkyfauzi@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Murman Dwi Prasetio
Department of Industrial Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
murmandwi@telkomuniversity.ac.id

3rd Haris Rachmat
Department of Industrial Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
harisrachmat@telkomuniversity.ac.id

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab cacat (defect), menganalisis variabel-variabel yang mempengaruhi cacat, dan mengevaluasi bagaimana penerapan metode Statistical Quality Control dapat membantu menurunkan defect rate pada produksi frame di industri fabrikasi karoseri kendaraan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data internal dalam periode 24 pekan yang dianalisis dengan menggunakan peta kendali untuk memantau stabilitas proses yang diteliti, analisis korelasi untuk memahami korelasi antar variabel independen, dan analisis regresi untuk mengetahui pengaruh dan signifikansi variabel independen, yaitu keuausan roda potong, kecepatan mesin, dan ketebalan roda potong. Hasil simulasi regresi menujukkan bahwa defect rate pada proses pemotongan frame bisa diturunkan dengan mengendalikan variabel independen tersebut pada titik peningkatan (improvement point). Meski hasil simulasi menunjukkan potensi penurunan defect rate sebesar 42.7% terhadap kinerja dasar sistem produksi, hasil simulasi dengan persamaan regresi masih belum mencapai target toleransi defect rate sebesar 5%, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperkuat stabilitas dan kapabilitas proses.

Kata Kunci*: Defect rate, DMAIC, Statistical Quality control.*

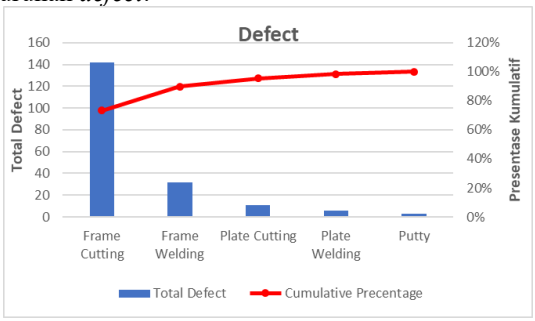
I. PENDAHULUAN

Dalam industri fabrikasi, kualitas merupakan salah satu aspek fundamental yang menentukan daya saing, efisiensi operasional, dan kepuasan pelanggan. Penggunaan tenaga manusia dalam fabrikasi bodi meningkatkan kemungkinan terjadinya cacat karena banyaknya variasi proses yang mungkin terjadi.

Tabel 1
Jumlah *defect rate*

Bulan	Jumlah Produksi	Jumlah F*rame Cutting Defect*	*Defect Rate*	Toleransi *defect*
Januari	118	19	16.10%	5%
Februari	119	23	19.33%	5%
Maret	122	32	26.23%	5%
April	119	27	22.69%	5%
Mei	119	21	17.65%	5%
Juni	117	20	17.09%	5%

Tingkat cacat yang dihasilkan terhadap produksi pada bulan Januari adalah 16,10%, pada bulan Februari sebesar 19,33%, dan pada bulan Maret sebesar 26,23%. Kemudian, tingkat cacat pada produksi bulan April adalah 22,69%, pada bulan Mei sebesar 17,65%, dan pada bulan Juni sebesar 17,09%. Jumlah kecacatan tersebut menjadi jenis kecacatan dengan proporsi tertinggi, dengan proporsi 73% terhadap keseluruhan *defect*.



Gambar 1
Proporsi *defect*

Cacat tersebut disebabkan oleh variasi proses, yaitu Keausan alat yang digunakan [8] dan kecepatan mesin [11]. Variasi proses perlu dianalisis untuk mengetahui dampak perubahan nilai setiap variabel dan signifikansi perubahan variasi terhadap output. Signifikansi variasi proses juga perlu disimulasikan menggunakan analisis regresi untuk mendapatkan nilai tingkat cacat yang diestimasi dari hasil pengendalian variasi proses.

II. KAJIAN TEORI

Pada bagian kajian teoritis ini, penulis mengulas teori-teori yang digunakan pada penelitian ini secara teoritis maupun metodis. Beberapa pembahasan digunakan secara langsung, dan beberapa digunakan sebagai alat penelitian.

A. STATISTICAL PROCESS CONTROL

Statistical Quality Control (SQC) merupakan pendekatan statistik yang difungsikan untuk mengendalikan variasi proses yang menggunakan data sebagai dasar untuk memahami, memantau, dan meningkatkan suatu proses [4]. Pengendalian proses statistik bertujuan untuk mendeteksi variasi yang tidak diinginkan sedini mungkin, sehingga tindakan korektif dapat segera diambil sebelum menghasilkan produk cacat [4]. Alat yang digunakan untuk SPC adalah Bagan Kendali, Bagan Paretor, Bagan Alir, Bagan Tulang Ikan, dan Bagan Sebar [4]. Alat statistik lain yang digunakan dalam menganalisis SPC adalah Analisis korelasi dan Analisis Regresi [4].

B. DMAIC

DMAIC adalah metodologi perbaikan proses yang sistematis dan berbasis data dalam kerangka kerja *Six Sigma*. Tedapat 5 fase dalam DMAIC, yaitu: *Define* (mendefinisikan

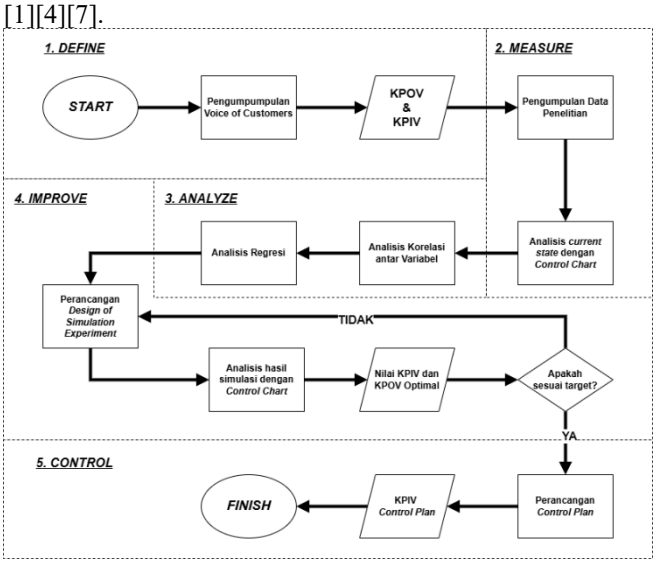
masalah), *Measure* (mengukur kinerja saat ini), *Analyze* (menganalisis akar penyebab masalah), *Improve* (mengembangkan dan menerapkan solusi), dan *Control* (mengendalikan proses agar perbaikan terus terjadi) [4]. DMAIC dirancang untuk mencapai pengurangan variasi dalam proses, peningkatan efisiensi, dan peningkatan kepuasan pelanggan melalui pendekatan yang terstruktur dan berorientasi pada hasil [2][4].

C. REGRESSION ANALYSIS

Analisis regresi adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji dan memodelkan hubungan antara variabel dependen dan satu atau lebih variabel independen [3][9]. Regresi linier menyediakan kerangka kerja analitis untuk memahami arah dan kekuatan hubungan antar variabel, dan memungkinkan estimasi prediktif [3][7]. Regresi banyak digunakan dalam konteks teknik dan sains terapan untuk menganalisis data eksperimen dan menentukan pengaruh faktor masukan terhadap variabel keluaran [2][3][12].

III. METODE

Desain sistematis yang penulis lakukan menggunakan kerangka kerja atau kerangka kerja berupa DMAIC, yang merupakan singkatan dari 5 tahapan, yaitu *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*. Penggunaan kerangka kerja DMAIC merupakan salah satu bentuk tahapan kerja yang digunakan dalam metode Statistical Quality Control [1][4][7].



Gambar 2
Metode Penelitian

A. Kerangka sistmatis DMAIC

Langkah pertama adalah mendefinisikan pernyataan masalah yang tersedia. Pernyataan masalah diperoleh dari suara pelanggan. Suara pelanggan kemudian diubah menjadi istilah-istilah terukur yang kritis terhadap kualitas. Istilah-istilah terukur CTQ kemudian dihubungkan dengan kondisi masalah yang ada [4].

Setelah pernyataan masalah diurutkan, proses pengukuran dilakukan dengan mengumpulkan data dan kemudian dilakukan berdasarkan kebutuhan data yang dibutuhkan dalam studi. Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah untuk menentukan kinerja pada kondisi yang ada dan kinerja dasar dari proses yang diteliti [8][10].

Proses analisis bertujuan untuk menganalisis bagaimana data saling memengaruhi. Langkah analisis dilakukan dengan melakukan analisis korelasi menggunakan diagram scatterplot dan analisis regresi untuk melihat seberapa signifikan setiap perubahan memengaruhi output [3][4].

Langkah perbaikan dilakukan setelah semua data saling memengaruhi diketahui. Jika titik perbaikan telah diketahui, data dapat digunakan untuk simulasi. Simulasi dilakukan berdasarkan tren data historis dan persamaan regresi [4][9][10].

Langkah pengendalian digunakan untuk memastikan variasi berada di dalam batas kendali. Alat yang digunakan untuk proses pengendalian adalah rencana pengendalian. Rencana pengendalian adalah rencana pengendalian dalam bentuk lembar kerja atau worksheet yang berisi tabel parameter pengendalian dan tabel untuk mengumpulkan data variabel dalam proses [1][4][6].

B. Correlation Analysis

Analisis korelasi dilakukan dengan mengkorelasikan variabel dependen dengan setiap variabel independen. Identifikasi korelasi antar variabel dilakukan menggunakan diagram scatterplot dan persamaan linear [3][13].

$$y = ax + b \tag{1}$$

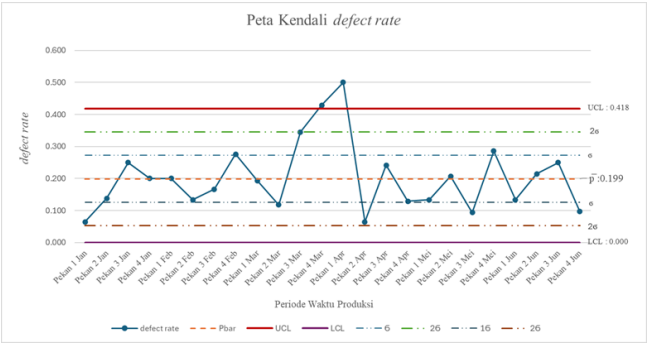
C. Regression Analysis

Analisis regresi dilakukan untuk memperoleh persamaan regresi linier berganda dan nilai signifikansi persamaan regresi [3]. Persamaan regresi juga menjelaskan kesesuaian model persamaan dengan kondisi yang ada, nilai akurasi prediksi yang dihasilkan oleh persamaan regresi, dan pengujian statistik model regresi.

$$Y = \beta_0 + \beta_n X_n \tag{2}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil identifikasi kinerja dasar menunjukkan bahwa proses yang ada memiliki nilai tingkat cacat 19.9%. Selain itu, terdapat dua titik pengamatan yang memiliki tingkat cacat di luar batas kendali, yang berarti variasi proses mengalami fluktuasi yang perlu diperbaiki.

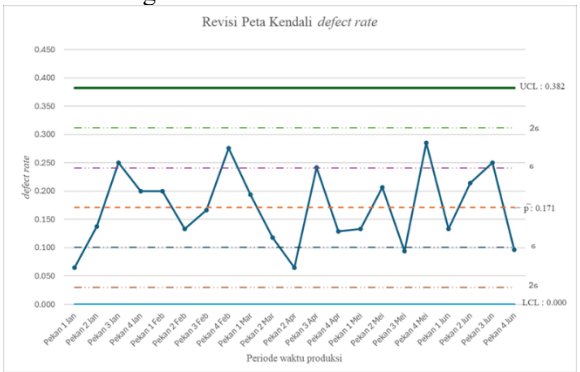


Gambar 3
Peta kendali *defect rate*

Peta kendali pada Gambar 3 menunjukkan adanya data yang berada diluar batas kendali. Data yang berada diluar batas kendali perlu dianalisis lebih lanjut untuk memahami variasi khusus yang menjadi penyebab terjadinya perubahan yang diluar batas kendali. Proses identifikasi variasi khusus dilakukan berbeda dengan identifikasi variasi alami, sehingga

proses pengolahan data dilanjut dengan mengeliminasi data yang berada diluar batas kendali.

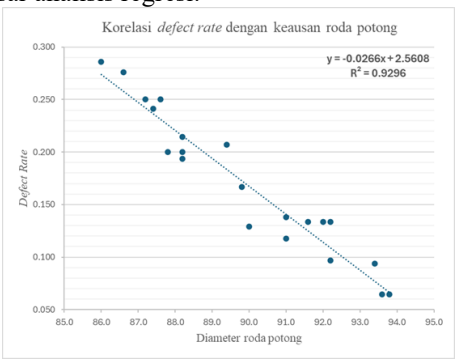
Setelah data yang berada diluar batas kendali dieliminasi, data yang masih berada dalam batas kendali dianalisis lebih lanjut untuk memahami pola data pada peta kendali. Berdasarkan pengolahan data yang tersisa, didapatkan hasil peta kendali sebagai berikut:



Gambar 4
Revisi peta kendali *defect rate*

Berdasarkan pola data pada revisi peta kendali *defect rate*, diketahui bahwa rata-rata *defect rate* adalah 0.171, dengan batas atas 0.382 dan batas bawa 0.000. Pola data yang ditampilkan menunjukkan pola data yang terkendali, namun perlu peningkatan karena nilai rata-rata *defect rate* masih berada diatas target yang diinginkan, yaitu 5% atau 0.050.

Untuk memahami korelasi penyebab *defect rate*, dilakukan analisis korelasi antar masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen. Korelasi tersebut bertujuan untuk memahami jenis korelasi, dan digunakan sebagai dasar analisis regresi.



Gambar 5
Analisis korelasi 1

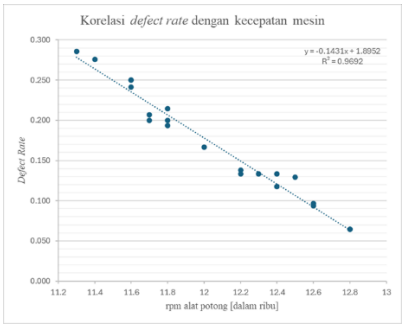
Analisis korelasi 1 menunjukkan adanya korelasi negatif-kuat antara variabel independen keausan roda potong dan variabel dependen *defect rate*. Korelasi variabel tersebut memiliki garis *trendline* lurus, yang menunjukkan pola persamaan negatif-linier. Untuk memastikan linieritas korelasi, dilakukan uji linieritas sebagai berikut:

Tabel 2
Uji Linieritas Korelasi 1

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
defectrate * diameter	Between Groups	(Combined)	.090	16	.006	21.210	.005
		Linearity	.085	1	.085	319.368	.000
		Deviation from Linearity	.005	15	.000	1.333	.427
	Within Groups		.001	4	.000		
	Total		.091	20			

Berdasarkan hasil uji linieritas terhadap korelasi 1, diketahui bahwa nilai signifikansi korelasi sebesar 0.000 dan nilai signifikansi *deviation from linearity* sebesar 0.427. Kedua nilai tersebut membuktikan bahwa korelasi 1 memenuhi syarat asumsi linieritas korelasi.



Gambar 6
Analisis Korelasi 2

Analisis korelasi 2 menunjukkan adanya korelasi negatif-kuat antara variabel independen kecepatan mesin dan variabel dependen *defect rate*. Korelasi variabel tersebut memiliki garis *trendline* lurus, yang menunjukkan pola persamaan negatif-linier. Untuk memastikan linieritas korelasi, dilakukan uji linieritas sebagai berikut:

Tabel 3
Uji linieritas korelasi 2

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
defectrate * rpm	Between Groups	(Combined)	.090	11	.008	176.775	.000
		Linearity	.088	1	.088	1893.688	.000
		Deviation from Linearity	.002	10	.000	5.083	.011
	Within Groups		.000	9	.000		
	Total		.091	20			

Berdasarkan hasil uji linieritas terhadap korelasi 2, diketahui bahwa nilai signifikansi korelasi sebesar 0.000 dan nilai signifikansi deviation from linearity sebesar 0.011. Kedua nilai tersebut membuktikan bahwa korelasi 2 memenuhi syarat asumsi linieritas korelasi.Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa korelasi antara masing-masing variabel independen dan variabel dependen berjenis korelasi negatif. Korelasi negatif yang terjadi memiliki nilai akurasi yang beragam, dengan tingkat kemiringan garis linier yang bervariasi pula.

Analisis regresi kemudian dilakukan setelah memahami korelasi antar variabel [3][10]. Analisis regresi dilakukan dengan membuat kalkulasi matriks terhadap nilai pada masing-masing variabel. Persamaan matiks yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\beta = (X^{\mathrm{T}}X)^{-1}X^{\mathrm{T}}Y \qquad (3)$$

Berdasarkan kalkulasi dengan menggunakan Persamaan (3), didapatkan model persamaan regresi. Model persamaan regresi yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$\mathrm{Y} = 2.136 - 0.0082X_1 - 0.1018X_2 \qquad (4)$$

Model persamaan regresi yang sudah dihasilkan kemudian diuji dengan menggunakan pengujian statistik untuk memverifikasi kesesuaian, akurasi dan stabilitas model

regresi. Hasil pengujian statistik yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Tabel 4
Uji Korelasi model regresi

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.989[a]	.978	.976	.010535	.978	400.361	2	18	.000	2.543

a. Predictors: (Constant), diameter, rpm
b. Dependent Variable: defectrate

Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa 97.8% nilai variabel dependen Y dapat diinterpretasikan oleh model persamaan regresi. Selain itu, nilai signifikansi f sebesar 0.00 yang nilai tersebut lebih kecil dari 0.05 menunjukan bahwa model regresi dikategorikan signifikan secara statistik.

Tabel 5
Uji signifikansi variabel

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2.136	.110		19.454	.000
	rpm	-.102	.016	-.701	-6.261	.000
	diameter	-.008	.003	-.298	-2.660	.016

Hasil uji signifikansi variabel menunjukkan nilai 0.016 untuk variabel diameter roda potong dan 0.000 untuk variabel rpm. Nilai tersebut menginfikasikan bahwa kedua variabel signifikan, karena memiliki nilai signifikansi lebih kecil dari 0.05.

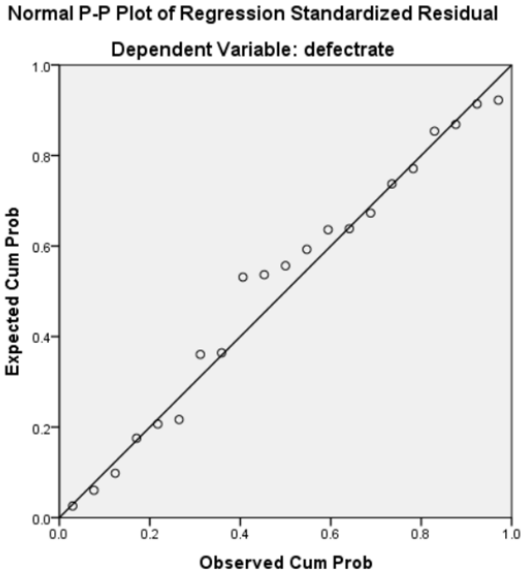
Tabel 6
Uji Residu

Residuals Statistics[a]

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.06253	.27931	.17095	.066662	21
Residual	-.020518	.014960	.000000	.009995	21
Std. Predicted Value	-1.626	1.625	.000	1.000	21
Std. Residual	-1.948	1.420	.000	.949	21

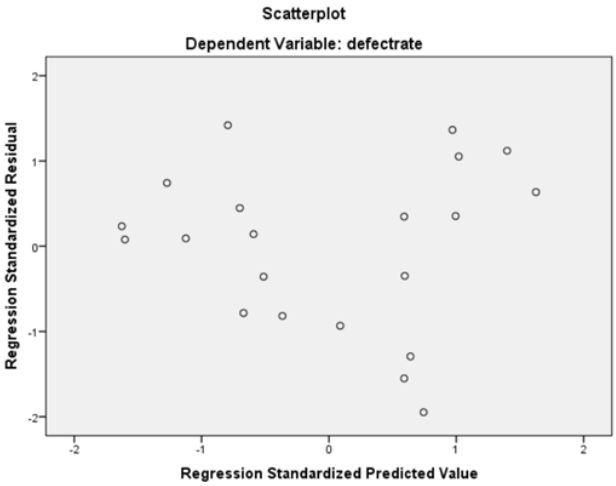
a. Dependent Variable: defectrate

Hasil uji residu menunjukkan nilai rata-rata residual senilai 0.000, yang mengindikasikan tidak ada bias yang terjadi pada model regresi. Selain itu, nilai residual beradapada rentang ±2, yang mengindikasikan tidak adanya *outlier* pada model regresi.



Gambar 7
Uji Normalitas

Hasil uji normalitas menunjukkan pola sebaran data yang mendekati garis diagonal (Garis distribusi normal sempurna). Polta data tersebut menunjukkan bahwa pola data yang dihasilkan dari model regresi medekatis garis diagonal, sehingga model regresi memenuhi syarat asumsi normalitas persamaan.



Gambar 8
Uji Homoskedastisitas

Hasil uji homoskedastisitas menunjukkan sebaran pola data yang tersebar secara acak tanpa pola tertentu. Sebaran data yang acak mengindikasikan bahwa model regresi memiliki varian sebaran data yang konstan, sehingga tidak terdapat indikasi heteroskedastisitas dan model regresi layak digunakan sebagai model prediksi.

Tabel 7
Hasil Uji statistik

Kategori	Nilai	Keterangan

R^2	0.978	97,8% data aktual dapat dijelaskan oleh model regresi.
p-value (f)	0.00	Model regresi signifikan secara statistik.
Durbin-watson	1.093	There is a autocorrelation probability but not in a severe state.
p-value (t) X_1	0.016	Nilai *p-value* (t) X_1 <0.05, sehingga variabel X_1 signifikan secara statistik.
p-value (t) X_2	0.000	Nilai *p-value* (t) X_2 <0.05, sehingga variabel X_2 signifikan secara statistik.
VIF	10.276	Nilai VIF >10 menunjukkan adanya multikolinieritas tinggi.
Mean residual	0.000	Nilai residual sebesar 0.00 menunjukkan tidak adanya bias antara nilai model regresi, sehingga model regresi stabil secara statistik.
Kategori	**Nilai**	**Keterangan**
Rentang residual	±2	Nilai rentang residu dengan selisih 0.035 menunjukkan model regresi akurat secara statistik.
Asumsi Normalitas	Data tersebar mendekati garis diagonal	Data tersebar mendekati garis diagonal (garis distribusi normal sempurna), sehingga model regresi memenuhi asumsi normalitas.
Homoskedastisitas	Data tersebar acak tanpa pola data tertentu	Data tersebar secara acak tanpa pola tertentu menunjukkan varians perubahan data yang konstan, sehingga model regresi memenuhi varian residual konsisten.

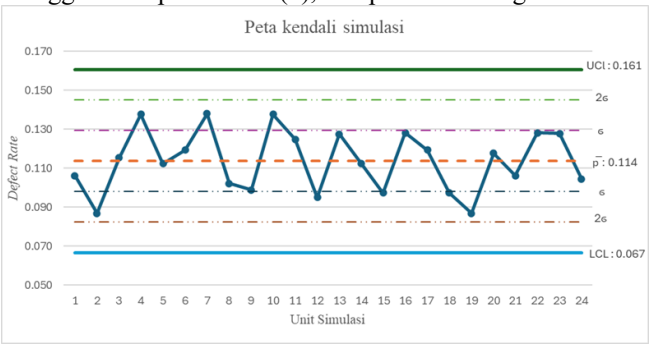
Hasil uji statistik menunjukkan adanya indikasi autokorelasi dan multikolinearitas dalam model regresi. Meskipun demikian, hal ini merupakan salah satu fenomena alami yang terjadi dalam uji statistik pada model regresi di mana semua hasil analisis korelasi memiliki jenis korelasi yang sama [5]. Model regresi kemudian digunakan untuk mengidentifikasi akurasi model regresi data aktual. Identifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil *defect rate* model regresi dengan data aktual dan data *defect rate* aktual. Perbandingan model regresi terhadap data aktual terdapat pada tabel berikut:

Tabel 8
Akurasi model regresi

Kategori	Hasil regresi	Data aktual	Akurasi
Selisih rentang	0.217	0.221	98.19%
mean	0.1722	0.1709	99.245%
standar deviasi	0.0666	0.0675	98.67%

Berdasarkan analisis akurasi model regresi, dapat diketahui bahwa model regresi memiliki akurasi tinggi, dengan nilai akurasi untuk selisih rentang sebesar 98.19%, nilai mean sebesar 99.245%, dan nilai standar deviasi 98.67%. Karena model regresi memiliki akurasi tinggi, maka model regresi layak digunakan sebagai model prediksi.

Prediksi dilakukan dengan menggunakan data historis sebagai acuan pada frekuensi kemunculan untuk nilai masing-masing variabel independen. Nilai yang digunakan merupakan nilai yang berada pada titik peningkatan, dan jumlah frekuensi kemunculan dihitung dengan menggunakan jumlah kemunculan nilai titik peningkatan terhadap jumlah unit observasi. Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan persamaan (4), didapat hasil sebagai berikut:



Gambar 9
Peta kendali simulasi

Hasil simulasi menunjukkan nilai rata-rata defect rate sebesar 0.114 dengan batas atas sebesar 0.161 dan batas bawah sebesar 0.067. Nilai rata-rata *defect rate* menunjukkan adanya peningkatan terhadap kinerja dasar saat ini. Peningkatan yang terjadi adalah sebesar 33.33% antara nilai rata-rata *defect rate* hasil simulasi (0.114) terhadap nilai rata-rata *defect rate* kinerja dasar saat ini (0.171).

Berdasarkan data pada Tabel 1, diketahui bahwa jumlah *defect* pada proses pemotongan frame adalah 142 unit, yang dimana jumlah defect tersebut memiliki proporsi sebesar 73.2% terhadap keseluruhan *defect*. Jumlah defect tersebut ketika dibandingkan dengan jumlah produksi frame memiliki nilai rata-rata defect rate sebesar 19.9%. Jika rencana pengendalian diimplementasikan, maka hasil simulasi pada Gambar 9 menunjukkan nilai rata-rata *defect rate* sebesar 11.4%. Nilai rata-rata *defect rate* tersebut kemudian dikalkulasikan dengan proporsi keseluruhan defect dengan asumsi volume produksi masih berada pada taraf yang sama.

Jumlah *defect* keseluruhan aktual = 142 buah

Jumlah produksi keseluruhan aktual = 714 buah

Defect rate aktual = 19.9%

Jika jumlah produksi diasumsikan berjumlah sama, dengan *defect rate* sebesar 11.4%, maka jumlah *defect* keseluruhan adalah 81 buah. Hal tersebut didapat dengan menghitung nilai *defect rate* simulasi terhadap jumlah produksi keseluruhan aktual. Nilai tersebut menunjukkan adanya penurunan sebesar 42.7% dari jumlah *defect* aktual sebesar 142 buah menjadi 81 buah defect. Jumlah tersebut kemudian dikalkulasikan dengan jumlah *defect* keseluruhan, dan didapatkan hasil kalkulasi keseluruhan *defect* adalah sebesar 133 buah total *defect*, yang dimana jumlah tersebut mengalami penurunan sebesar 31.44% terhadap jumlah *defect* keseluruhan pada kondisi saat ini yang berjumlah 194 buah.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang sudah didapatkan, bisa disimpulkan bahwa perubahan defect rate disebabkan oleh perubahan variasi pada keausan roda potong dan kecepatan mesin. Jika nilai masing-masing variabel bebas dikendalikan pada titik peningkatan (improvement point), maka nilai defect rate yang dihasilkan adalah sebesar 0.166. Setiap perubahan variabel keausan roda potong sebesar 0.7 mm kecepatan mesin sebesar 0.1 ribu rpm berdampak pada variasi sebesar 1 sigma atau 0.0156.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan mengendalikan nilai ketiga variabel tersebut pada batas minimal titik peningkatan, maka nilai rata-rata defect rate yang dihasilkan pada proses pemotongan frame menurun sebesar 42.7% menjadi 11.4% yang awalnya 19.9%. Hasil simulasi tersebut diverifikasi dengan menggunakan uji statsitik dan analisis perbandingan hasil regresi dengan kondisi aktual. Hasil uji statistik menjelaskan bahwa model regresi yang dihasilkan memenuhi persyaratan statistik, dan hasil analisis perbandingan menunjukkan akurasi hasil regresi dengan kondisi aktual adalah 98.19% berdasarkan nilai rentang Y, 99.245% berdasarkan nilai mean, dan 98.67%. Meski begitu, nilai hasil simulasi menunjukkan proyeksi rata-rata defect rate diatas 10%, yang dimana nilai tersebut masih jauh dari target PT. MWR sebesar 5%.

Margin variasi yang kecil mengindikasikan bahwa diperlukan analisis lebih lanjut terkait dengan pengendalian variasi proses, atau peningkatan mutu dengan menganalisis aspek lain dalam sistem produksi frame pada fabrikasi karoseri di PT. MWR.

REFERENSI

[1] C. G. P. Condé., P. C. Oprime., M. L. Pimenta., J. L. Sordan., & C. R. Bueno, “Defect Reduction using Lean Six Sigma and DMAIC”, Dalam Proceedings of the 5th ICQEM Conference. University of Minho. 2022

[2] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, Fourth Edition, New York : John Wiley & Sons, 1997

[3] D. C. Montgomery, E. A. Peck, & G. G. Vining, *Introduction to Linear Regression Analysis* (5th ed.). Hoboken: Wiley. 2012.

[4] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, Seventh Edition, New York : John Wiley & Sons. 2013

[5] D. N. Gujarati, & D. C. Porter, *Basic Econometrics* (5th ed.). New York: McGraw-Hill. 2009.

[6] G. Diaz-Ruiz., M. Trujillo-Galego, “A Six Sigma and System Dynamic Integration for Process Variability Reduction in Industrial Processes”. International Journal for Quality Research, 16(4). 2021.

[7] G. Stephanopoulos, Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice. Prentice-Hall. 1984

[8] K. Ermis, R. Elikten.,”The effect of the gap between the materials on the weld penetration and mechanical values in the MAG butt weld joint”. Journal of Engineering Research and Applied Science. Vol. 10 (1). 2022

[9] N. Churi,, L. Adams., P. W. Witt, “Integrated – Lean Six Sigma (LSS), Statistical Process Control (SPC), and Data Analysis (DA) approach to Improve Process Efficiency in Micro-Finishing Process”, The Journak of Business Leadership. Vol. 32, 2025.

[10] S.A. Setiawan, “Implementation of Six Sigma Methodology to Reduce High Defect Rate in Rubber Processing Industry” . European Journal of Business and Management Research, Vol. 10. 2025.

[11] S. A. Sulaiman, Sh. Mohammad, W. N. W. Isahak, M. Yusuf, M. Sayuti, “Dry Milling Machining: Optimization of Cutting Parameters Affecting Surface Roughness of Aluminum 6061 using the Taguchi Method”. International Journal of Technology. 2022.

[12] V. Gasperz, *Lean Six Sigma for Manufacturing and Services*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama. 2017.

[13] Y. Attaqwa., A. Hamidiyah., F. A. Ekoanindyo., “Product Quality Control Analysis with Statistical Process Control (SPC) method in Weaving Section (Case Study PT. I)”, International Journal of Computer and Information System, Vol. 2, 2021.