



Pengendalian kualitas *continuous tandem cold mill* (CTCM) menggunakan metode Taguchi pada divisi *cold rolling mill* di PT. XYZ

Dyah Lintang Trenggonowati^{a,1}, Maria Ulfah^a, Faula Arina^a, Alya Mustika Wardhani^a

^aJurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman KM.3, Kota Cilegon 42435, Indonesia

¹E-mail: dyahlintang@untirta.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 16 Oktober 2020

Direvisi pada 20 Oktober 2020

Disetujui pada 11 November 2020

Tersedia daring pada 30 November 2020

Kata kunci:

ANOVA, baja, cacat, optimasi, kualitas, Taguchi.

Keywords:

ANOVA, defect, optimization, quality, steel, Taguchi.

ABSTRAK

Kualitas menjadi hal yang paling utama dan mendasar bagi pelanggan, yaitu ketika produk yang didapatkannya berada dalam keadaan baik dan tidak terdapat kecacatan atau *defect*. Dengan kondisi seperti ini, perusahaan dituntut memproduksi produk yang berkualitas baik dengan tingkat kecacatan atau *defect* seminimum mungkin agar dapat meningkatkan profit perusahaan. PT. XYZ merupakan salah satu industri baja terbesar di Indonesia yang senantiasa menjaga produknya dengan kualitas yang tinggi tetapi masih terdapat produk yang memiliki kecacatan atau *defect*. Pada Tahun 2019, kecacatan yang terjadi pada *continuous tandem cold mill* (CTCM) untuk produk *cold rolled coil* (CRC) mencapai ± 29.918 ton dari total produksi 282.863 ton atau sekitar $\pm 10\%$ dari total produksi. Oleh karena itu peneliti melakukan penelitian terkait kecacatan (*defect*) yang terjadi untuk produk *cold rolled coil* (CRC) pada *continuous tandem cold mill* (CTCM). Penelitian terhadap kualitas produk *cold rolled coil* (CRC) dilakukan dengan menggunakan diagram Pareto, peta kendali p, diagram *fishbone*, metode Taguchi dan ANOVA. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa cacat yang dominan terjadi adalah cacat F70A (*serrated edge*) dan untuk meminimalisir cacat tersebut didapatkan *setting level* yang optimal yaitu temperatur coil sebesar 890°C dan *break cut area* dengan $\geq 40\%$ area pemotongan atau pemakanan coil.

ABSTRACT

The most basic thing in quality in the eyes of customers is when the product they get is in good condition and there are no defects. With these conditions, companies are required to produce products with minimum defects or no defects in order to increase company profits. PT. XYZ. is the largest steel industry in Indonesia which always maintains its products with high quality but there are still products that have defects. In 2019, defects occurred in the continuous tandem cold mill (CTCM) mill for cold rolled coil (CRC) reached ± 29.918 tons from a total production of 282.863 tons or about 10% of total production. Therefore, researchers conducted research related to defects that occur for cold rolled coil (CRC) products in continuous tandem cold mill (CTCM). Research on the quality of cold rolled coil (CRC) products was carried out using Pareto diagrams, p-control charts, fishbone diagrams, and the Taguchi method. Based on the results of the study, it was found that the dominant defect occurred was F70A (*serrated edge*) defect, then to minimize the defect, the optimal setting level was obtained, that is coil temperature of 890°C and the break cut area with $\geq 40\%$ of the cutting area or coil feeding.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9242>.

1. Pendahuluan

Pada era globalisasi ini, perusahaan dituntut untuk kompetitif. Salah satu cara agar perusahaan mampu mempertahankan diri dalam kompetisi tersebut ialah memperhatikan kualitas produk yang sesuai dengan keinginan pelanggan. Agar mendapatkan kualitas produk terbaik perusahaan dituntut memproduksi produk dengan kualitas yang baik dan tingkat kecacatan atau *defect* seminimum mungkin. PT. XYZ merupakan salah satu industri baja terbesar di Indonesia. Salah satu unit kerja PT. XYZ adalah *cold rolling mill* (CRM) yang memproduksi *cold rolled coil* (CRC). Di unit kerja *cold rolling mill* (CRM), material akan melewati bagian *continuous tandem cold mill* (CTCM). PT. XYZ senantiasa menjaga produknya dengan kualitas yang tinggi tetapi masih terdapat



produk yang memiliki kecacatan atau *defect*. Pada tahun 2019, kecacatan yang terjadi pada *continuous tandem cold mill* (CTCM) mencapai ± 29.918 ton dari total produksi 282.863 ton atau sekitar $\pm 10\%$ dari total produksi. Kecacatan (*defect*) tidak dapat diperbaiki secara ekonomis yang berarti kecacatan (*defect*) berdampak pada profit yang tentu saja akan menurun dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan [1].

Parameter optimasi pengelasan dan kekuatan tarik (*tensile strenght*) *duplex stainless steel* 2205 dengan pengelasan gas inert tungsen dapat menggunakan metode Taguchi dan analisis varians. Penggabungan metode Taguchi dan ANOVA merupakan metode yang efektif untuk mengoptimalkan kualitas material pengelasan [2]. Pada sampel baja ringan AISI 1018 dilakukan rancangan percobaan *orthogonal array* (L9) berbasis Taguchi. Parameter proses dioptimalkan menggunakan metode Taguchi, dimana selanjutnya dilakukan analisis varian untuk mengetahui pengaruh parameter *input* terhadap parameter respon [3]. Pemasangan pompa sebagian besar ditolak karena cacat logam dingin. Untuk mengatasi cacat logam dingin parameter proses kekerasan cetakan, kelembaban, waktu dan suhu penuangan diselidiki menggunakan pendekatan Taguchi sampai didapatkan nilai yang optimal. Pada penelitian tersebut hasil dari analisis regresi memastikan bahwa nilai yang dipilih dapat diterima [4].

Pendekatan penelitian yang lebih jauh dan dalam diarahkan untuk memahami lebih dekat kompleksitas spesifikasi toleransi, yaitu tentang bagaimana analisis variasi mendukung spesifikasi toleransi selama pengembangan produk [5]. Metode Taguchi cenderung meningkatkan kepastian, yaitu mengoptimalkan masalah *multi-respons* dengan pengurangan variasi. Dari sisi yang berbeda, metode Taguchi merupakan metode pengoptimalan yang diusulkan memberikan kinerja pengoptimalan yang unggul dibandingkan dengan metode yang lain dan pengaturan parameter yang digunakan dalam produksi massal dalam hal konformasi percobaan [6] atau dengan kata lain mampu *accelerated life testing* (ALT) analisis untuk memberikan kepastian pada *extrapolation* [7]. *Design of experiments* (DOE) dengan pendekatan proses kontrol berubah semakin baik dalam *mean* dan *variens* karena penyesuaian parameter pada grafik SPC [8]. Kontrol kualitas, jaminan kualitas, dan manajemen kualitas total semuanya berkaitan dengan pengelolaan dan pengendalian variasi. Semakin sedikit variasi sistem, semakin baik kualitas yang diberikannya [9].

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, perlunya identifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kecacatan (*defect*) serta meminimalisir kecacatan (*defect*) itu sendiri. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam penelitian ini yaitu diagram Pareto untuk mengetahui kecacatan (*defect*) dominan yang terjadi, peta kendali untuk memonitor apakah kecacatan (*defect*) tersebut masih terkendali secara statistik atau tidak [10], diagram fishbone untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan kecacatan (*defect*) tersebut terjadi, dan metode Taguchi dan ANOVA untuk mengoptimalkan kualitas dan proses produk serta menekan biaya seminimal mungkin [11]. Berdasarkan kondisi perusahaan serta penelitian terdahulu maka penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan kualitas produk dengan mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan kecacatan (*defect*) serta upaya untuk meminimalisir kecacatan (*defect*). Upaya untuk meminimalisir kecacatan (*defect*) dapat diketahui berdasarkan pengaruh faktor-faktor yang menyebabkan kecacatan (*defect*).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari data wawancara dan observasi, serta data sekunder terdiri dari data jumlah produk cacat data produksi, dan data *setting level* (data histori PT. XYZ di Tahun 2019). Metode pengolahan data pada penelitian ini menggunakan peta kendali-p, diagram Pareto, diagram sebab-akibat, metode Taguchi dan ANOVA. Adapun detail penjelasan metode olah data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut [12].

2.1 Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah gambar yang mendeskripsikan urutan suatu klasifikasi data dari kiri ke kanan sesuai urutan mulai dari rangking tertinggi sampai terendah. Rangking tertinggi mengindikasikan sebagai permasalahan prioritas yang harus segera ditangani, dan rangking terendah mengindikasikan sebagai permasalahan yang tidak *urgent* untuk ditangani. Diagram Pareto menggunakan dasar prinsip 80/20, yang berarti sekitar 80% masalah disebabkan oleh 20% sumber masalah. Hal ini mengindikasikan bahwa fokus utama pada sebuah permasalahan adalah seluruh karakteristik masalah yang berada pada kumulatif 20%. Tahapan rumusan yang digunakan untuk perhitungan persentase produk karakteristik cacat yang digunakan untuk menggambarkan diagram Pareto sebagai berikut.

a. Persentase Cacat

$$(x)\% \text{Cacat} = \frac{\text{Jumlah cacat (x)}}{\text{Jumlah cacat inspeksi}} \times 100\% \quad (1)$$

b. Persentase Kumulatif

$$\% \text{Kumulatif} = \% \text{Kumulatif a} + \% \text{Kumulatif b} \quad (2)$$

2.2 Peta Kendali -p

Peta kendali p dipakai untuk mengetahui apakah jumlah cacat yang terjadi masih dalam batas toleransi yang ditentukan. Peta kendali -p menggunakan proporsi jumlah kecacatan terhadap jumlah total kejadian dan digunakan dalam pengendalian kualitas untuk melaporkan unit-unit yang tidak sesuai dalam produk dimana karakteristik kualitas jumlah n tidak konstan [18]. Rumus yang digunakan untuk perhitungan peta kendali -p sebagai berikut.

a. Proporsi

$$\text{Proporsi} = \bar{p} = \frac{np \text{ (Jumlah cacat)}}{n \text{ (Jumlah produksi inspeksi)}} \quad (3)$$

b. Center line (CL) (\bar{p})

$$CL = \bar{p} = \frac{\sum np \text{ (Total jumlah cacat)}}{\sum n \text{ (Total produksi inspeksi)}} \quad (4)$$

c. *Upper center line* (UCL)

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (5)$$

d. *Lower center line* (LCL)

$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (6)$$

2.3 Diagram Sebab Akibat

Diagram sebab akibat (*diagram fishbone*) merupakan salah satu metode atau alat yang berbentuk ikan dan digunakan sebagai pengendali proses statistik. Diagram sebab akibat dibuat untuk memunculkan berbagai akar dan sub akar penyebab masalah, sehingga diharapkan akan berbalik kembali memunculkan ide-ide menarik guna menyelesaikan setiap permasalahan sampai pada akarnya. Diagram *fishbone* menggambarkan sebab-akibat, dimana diilustrasikan dengan garis dan simbol-simbol yang menunjukkan hubungan antara akibat dan penyebab suatu masalah. Dari diagram ini diharapkan dapat diketahui faktor-faktor penyebab terjadinya cacat pada F70A (*serrated edge*).

Beberapa faktor yang diperhatikan dalam penelitian ini, dalam hal menyusun diagram *fishbone*, yaitu terdiri ini faktor manusia, metode, mesin, dan material. Setelah identifikasi penyebab masalah, maka dilakukan pemberian solusi untuk mengurangi masalah tersebut dengan menggunakan tabel 5W+2H yaitu *what, why, when, where, who, how* dan *how much*. Dari hal tersebut dapat diketahui apa saja upaya perbaikan yang dapat dilakukan untuk masing-masing faktor, mengapa perlu dilakukan perbaikan tersebut, kapan perbaikan dilakukan, dimana perbaikan dilakukan, siapa yang bertanggung jawab atas perbaikan tersebut, bagaimana perbaikan dilakukan, dan berapa biaya yang akan dikeluarkan untuk perbaikan tersebut.

2.4 Metode Taguchi dan ANOVA

Metode Taguchi merupakan prosedur desain dan analisis untuk melaksanakan percobaan (eksperimen) multi faktor yang akan memberikan kontribusi kesuksesan secara signifikan, yaitu mengembangkan proses spesifikasi produk yang secara konsisten mencapai spesifikasi target. Metode ini sangat berpotensi membantu menghasilkan produksi yang tinggi kualitas dan andal dengan meminimalkan pengaruh dari berbagai penyebab perubahan tanpa menghilangkan penyebab itu sendiri. Dimana penyebab perubahan (variasi) ini dalam metode Taguchi dikenal sebagai faktor derau (*noise*). Tahap-tahap dalam metode Taguchi dijelaskan seperti di bawah ini [13, 17].

a. Menentukan karakteristik kualitas dan fungsi objektif

Fungsi objektif atau tujuan dalam menyelesaikan masalah bisa berbentuk *bigger the better* atau *smaller the better*. Sedangkan penentuan karakteristik kualitas tergantung pada tujuannya. Dalam penelitian kali ini karakteristik kualitas yang diukur adalah jumlah cacat (ton). Dikarenakan karakteristik kualitasnya adalah jumlah cacat yang mana harus diminimalkan maka fungsi objektif yang dipilih adalah *smaller the better*. *Smaller the better* merupakan fungsi objektif dimana pencapaian karakteristik semakin baik apabila nilainya semakin kecil. Dapat dikatakan jika jumlah cacat lebih kecil maka kualitas yang dihasilkan semakin bagus.

b. Menentukan faktor kontrol

Faktor-faktor yang menjadi amatan pada metode Taguchi adalah faktor kontrol dan faktor gangguan. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factor*) adalah sebaliknya, yaitu faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau kita kendalikan. Sehingga faktor keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antar kedua faktor tersebut sangat berbeda. Penentuan faktor kontrol bisa didasarkan pada diagram sebab-akibat atau *fishbone*. Faktor kontrol yang didapat dari diagram sebab-akibat biasanya faktor yang dapat dikendalikan perusahaan.

c. Menentukan tingkat perlakuan (*level*)

Penentuan jumlah level sangat mempengaruhi tingkat ketelitian hasil percobaan dan biaya pelaksanaan percobaan. Semakin banyak jumlah level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh juga semakin banyak. Tetapi banyaknya level akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga akan meningkatkan biaya percobaan [19]. Level faktor yang digunakan dalam eksperimen bisa berdasarkan observasi dan wawancara.

d. Memilih *orthogonal array* (OA)

Orthogonal array (OA) merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh [20]. Dalam menentukan *orthogonal array* maka diperlukan nilai *degree of freedom* dari faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian.

e. Melakukan eksperimen

Pada penelitian ini dilakukan dua replikasi untuk masing-masing eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan mengkombinasikan dua level faktor.

f. Menghitung ANOVA rata-rata

ANOVA biasa digunakan untuk sebutan metode Taguchi yang menggunakan *analysis of variance*. Data atribut dalam ANOVA digunakan untuk mendapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai respon [21]. ANOVA rata-rata digunakan untuk mengidentifikasi apakah faktor-faktor kontrol tersebut dapat berpengaruh secara signifikan atau sebaliknya. Tahapan untuk menghitung ANOVA rata-rata adalah sebagai berikut:

1) Menghitung rata-rata, untuk mengetahui rataan hasil eksperimen.

$$\text{Rata-rata eksperimen 1} = \frac{\text{Hasil 1} + \text{Hasil 2}}{n} \quad (7)$$

2) Membuat tabel respon. Tabel respon digunakan untuk mengidentifikasi ranking atau level yang terbaik dari faktor-faktor kontrol tersebut. Tahapan rumusan yang digunakan untuk menghitung tabel respon adalah sebagai berikut.

a) Faktor A Level 1

$$(\bar{A}_1) = \frac{\sum \text{Rata-rata level 1 pada faktor A}}{n} \quad (8)$$

b) Selisih

$$Diff = \text{Max. Faktor A} - \text{Min. Faktor A} \quad (9)$$

3) Menghitung ANOVA rata-rata. Dari perhitungan ANOVA rata-rata selanjutnya dapat diketahui faktor-faktor kontrol mana yang secara lebih signifikan dapat memberikan pengaruh terhadap jumlah cacat (*defect*). Karakteristik keputusan untuk ANOVA rata-rata adalah sebagai berikut:

- Jika nilai F-rasio > Ftabel (F0.05 (1;5) = 6.61), maka faktor (x) berpengaruh signifikan terhadap kualitas produk
- Jika nilai Frasio < Ftabel (F0.05 (1;5) = 6.61), maka faktor (x) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas produk

Tahapan rumusan yang digunakan untuk menghitung ANOVA rata-rata adalah sebagai berikut:

a) Jumlah kuadrat total (SS_{total})

$$SS_{\text{total}} = \sum y^2 \quad (10)$$

b) Jumlah rata-rata kuadrat (SS_{mean})

$$\begin{aligned} SS_{\text{mean}} &= n \times \bar{y}^2 \\ &= n \times \left(\frac{\text{Total Cacat}}{n} \right)^2 \end{aligned} \quad (11)$$

c) Jumlah kuadrat masing-masing faktor (SS_A dan SS_B)

$$SS_A = ((\bar{A}_1)^2 \times n_1) + ((\bar{A}_2)^2 \times n_2) - SS_{\text{mean}} \quad (12)$$

$$SS_B = ((\bar{B}_1)^2 \times n_1) + ((\bar{B}_2)^2 \times n_2) - SS_{\text{mean}} \quad (13)$$

d) Jumlah kuadrat *error* (SS_{error})

$$SS_{\text{error}} = SS_{\text{total}} - SS_{\text{mean}} - SS_A - SS_B \quad (14)$$

e) Derajat kebebasan faktor (D_f)

$$D_f A = (\text{Number of level} - 1) \quad (15)$$

f) Derajat kebebasan total

$$D_f SS_t = (\text{Number of experiment} - 1) \quad (16)$$

g) Rata-rata jumlah kuadrat (MS)

$$MS_A = \frac{SS_A}{Df_A} \quad (17)$$

h) Ratio (F_{ratio})

$$F_{\text{ratio}} A = \frac{MS_A}{MS_{\text{error}}} \quad (18)$$

i) SS' masing-masing faktor

$$SS'_{\text{faktor}} = SS_{\text{faktor}} - (Df_{\text{faktor}} \times MS_{\text{error}}) \quad (19)$$

$$SS'_{\text{error}} = SS_t - (SS'_A + SS'_B) \quad (20)$$

j) Persentase *ratio* akhir masing-masing faktor ($\rho\%$)

$$\rho\% A = \frac{SS'_A}{SS'_t} \times 100\% \quad (21)$$

Jika nilai F hitung faktor pada tahap perhitungan ANOVA rata-rata kurang dari F tabel, maka masih diperlukan tahap *pooling up* supaya faktor kontrol dianggap signifikan dengan menggabungkannya dengan nilai *error*.

g. Melakukan strategi *pooling up*.

Jika berdasarkan perhitungan ANOVA terdapat faktor yang tidak berpengaruh signifikan secara statistik maka perlu dilakukan *pooling up*. *Pooling up* untuk memastikan bahwa faktor (x) memiliki pengaruh terhadap kualitas produk (meskipun nilai kontribusinya kecil). Tahapan rumusan untuk strategi *pooling up* adalah sebagai berikut.

1) Jumlah kuadrat *pooled e*

$$SS(\text{pooled } e) = SS_{\text{error}} + SS_B \quad (22)$$

2) *Degree of freedom pooled e*

$$D_f(\text{pooled } e) = Df_{\text{error}} + Df_B \quad (23)$$

3) Rata-rata jumlah kuadrat *pooled e*

$$MS_{\text{pooled } e} = \frac{SS_{\text{pooled } e}}{Df_{\text{pooled } e}} \quad (24)$$

h. Menghitung ANOVA *signal to noise ratio* (SNR).

Perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) memiliki karakteristik menunjukkan nilai kontribusi (*smaller the better*), dimana semakin kecil maka semakin baik. Rumusan perhitungan ANOVA *signal to noise ratio* adalah sebagai berikut.

1) Perhitungan *signal to noise ratio* (SNR)

a) Mean squared deviation (MSD)

$$\text{MSD} = \frac{1}{n} \sum y^2 \quad (25)$$

b) *Signal to noise ratio* (SNR)

$$\text{SNR} = -10 \log(\text{MSD}) \quad (26)$$

2) Pembuatan tabel respon *signal to noise ratio* (SNR)

a) Faktor A Level 1

$$(\bar{A}_1) = \frac{\sum \text{Rata-rata level 1 pada faktor A}}{n} \quad (27)$$

b) Selisih

$$\text{Diff} = \text{Max. Faktor A} - \text{Min. Faktor A} \quad (28)$$

3) Perhitungan ANOVA *signal to noise ratio* (SNR)

a) Jumlah kuadrat total (SS_{total})

$$SS_{\text{total}} = \sum y^2 \quad (29)$$

b) Jumlah rata-rata kuadrat (SS_{mean})

$$\begin{aligned} SS_{\text{mean}} &= n \times \bar{y}^2 \\ &= n \times \left(\frac{\text{Total SNR}}{n} \right)^2 \end{aligned} \quad (30)$$

c) Jumlah kuadrat masing-masing faktor (SS_A dan SS_B)

$$SS_A = ((\bar{A}_1)^2 \times n_1) + ((\bar{A}_2)^2 \times n_2) - SS_{\text{mean}} \quad (31)$$

$$SS_B = ((\bar{B}_1)^2 \times n_1) + ((\bar{B}_2)^2 \times n_2) - SS_{\text{mean}} \quad (32)$$

d) Jumlah kuadrat *error* (SS_{error})

$$SS_{\text{error}} = SS_{\text{total}} - SS_{\text{mean}} - SS_A - SS_B \quad (33)$$

e) Jumlah kuadrat *pooled* (SS_{pooled})

$$SS_{\text{pooled}} = SS_{\text{error}} + SS_B \quad (34)$$

f) Derajat kebebasan faktor (D_f)

$$D_{fA} = (\text{Number of level} - 1) \quad (35)$$

g) Derajat kebebasan total

$$D_{fSS_t} = (\text{Number of experiment} - 1) \quad (36)$$

h) Rata-rata jumlah kuadrat (MS)

$$MS_A = \frac{SS_A}{D_{fA}} \quad (37)$$

i) *Ratio* (F_{ratio})

$$F_{\text{ratio}A} = \frac{MS_A}{MS_{\text{pooled}}} \quad (38)$$

j) SS' masing-masing faktor

$$SS'_{\text{faktor}} = SS_{\text{faktor}} - (D_{f\text{faktor}} \times MS_{\text{pooled}}) \quad (39)$$

$$SS'_{\text{pooled}} = SS_t - SS'_A \quad (40)$$

k) Persentase *ratio* akhir masing-masing faktor ($\rho\%$)

$$\rho\%A = \frac{SS'_A}{SS_t} \times 100\% \quad (41)$$

i. Menentukan setting *level* optimal.

Upaya untuk meningkatkan kualitas yaitu dengan mencari kombinasi pengaturan level agar produk sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan (menentukan kombinasi level yang optimal).

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini merupakan data produksi yang dihasilkan pada *continuous tandem cold mill* (CTCM) divisi *cold rolling mill* (CRM) di PT. XYZ periode Januari hingga Desember 2019.

Tabel 1. Data produksi Tahun 2019 PT. XYZ.

Bulan	Total produksi (ton)	Bulan	Total produksi (ton)
Januari	50.370	Juli	10.089
Februari	24.521	Agustus	2.785
Maret	22.882	September	140
April	226	Oktober	59.995
Mei	2.574	November	59.278
Juni	1.855	Desember	48.149
Jumlah		282.863	

(Sumber: PT. XYZ, 2019).

Berdasarkan Tabel 1 di atas, dapat diketahui total produksi pada produk baja *cold rolled coil* (CRC) dalam satuan ton selama tahun 2019 unit produksi *continuous tandem cold mill* (CTCM) divisi *cold rolling mill* (CRM) di PT. XYZ yaitu 282.863. Data cacat produk yang terjadi pada CTCM divisi CRM di PT. XYZ periode Januari hingga Desember 2019 disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2. Di atas, dapat diketahui jenis cacat beserta total cacat produk baja CRC yang terjadi dalam satuan ton selama tahun 2019 unit produksi CTCM divisi CRM di PT. XYZ.

Tabel 2. Data produk cacat Tahun 2019 PT. XYZ.

No.	Jenis Cacat	Bulan												Total
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
1.	F01A	27	0	44	0	0	17	0	0	0	23	38	0	148
2.	F1	149	38	105	0	0	49	42	8	0	273	241	257	1161
3.	F11	727	275	149	0	0	17	16	84	0	387	54	73	1784
4.	F12	120	0	0	0	0	0	0	22	0	41	44	0	227
5.	F13	402	445	735	0	80	48	117	0	0	796	437	887	3949
.....														
.....														
40.	F70A	1359	589	181	38	99	97	223	72	0	1507	1916	1841	7922
41.	F90	10	0	0	0	0	0	0	4	0	45	18	16	93
42.	F96	135	19	27	7	8	11	13	5	0	91	84	112	511
43.	F98	56	19	6	0	9	7	42	16	0	72	127	84	437
Jumlah		5077	3039	2225	45	359	348	629	304	0	5278	6611	6003	29918

(Sumber: PT. XYZ, 2019)

3.1. Peta Kendali p

Sebelum menentukan faktor-faktor yang menyebabkan kecacatan (*defect*), dilakukan analisis dengan menggunakan diagram Pareto untuk mengetahui jenis cacat dominan yang terjadi. Berikut Tabel 3 menunjukkan rekapitulasi perhitungan persentase karakteristik cacat pada PT. XYZ.

Tabel 3. Perhitungan persentase karakteristik cacat.

Jenis cacat	Karakteristik cacat	Jumlah	%Cacat	%Kumulatif
F70A	<i>Serrated edge</i>	7922	26.478	26.478
F13	<i>Wavy edge</i>	3949	13.198	39.677
F75	<i>Saw tooth edge</i>	3782	12.641	52.318
F17	<i>Ripple edge</i>	2389	7.986	60.303
F11	<i>Center buckle</i>	1784	5.963	66.267
F21	<i>Pick up</i>	1487	4.969	71.236
F1	<i>Over gage</i>	1161	3.880	75.116
F85	<i>Soft eyes</i>	807	2.698	77.814
F58	<i>Carry over</i>	628	2.100	79.914
F47	<i>Poor cleanliness</i>	523	1.748	81.662
F96	<i>Bad wield</i>	511	1.708	83.370
F98	<i>Under weight</i>	437	1.461	84.831

Jenis cacat	Karakteristik cacat	Jumlah	%Cacat	%Kumulatif
F80	Telescope coil	435	1.455	86.286
F81	Protruding coil	431	1.439	87.726
F23	Pinch mark	381	1.273	88.999
F70	Edge crack	353	1.180	90.179
F27A	Transfer line	307	1.025	91.204
F20	Roll mark	254	0.847	92.051
F20B	Roll mark line	245	0.819	92.870
F28A	Slippage	237	0.791	93.662
F12	Quarter buckle	227	0.759	94.420
F27B	Open scratch	211	0.704	95.125
F29	Dents	187	0.624	95.748
F27	Scratch	174	0.581	96.329
F2	Under gage	148	0.495	96.824
F01A	Variation gage	148	0.495	97.319
F22	Crack mark	131	0.439	97.758
F90	Cobble	93	0.311	98.070

Berikut merupakan contoh perhitungan persentase produk karakteristik cacat yang digunakan untuk menggambarkan diagram Pareto dengan menggunakan persamaan (1) dan (2).

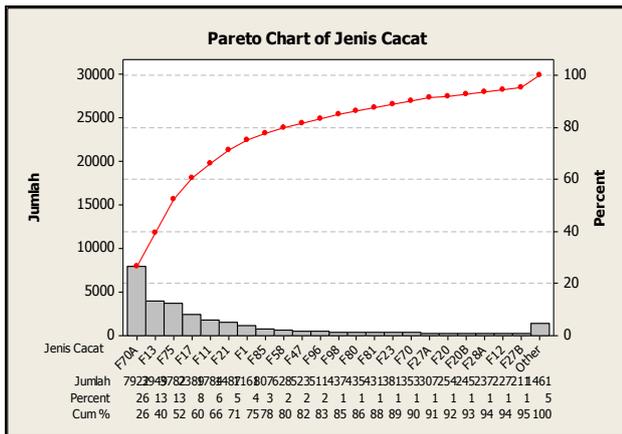
a). Persentase cacat

$$\begin{aligned} \%Cacat &= \frac{\text{Jumlah cacat serrated edge}}{\text{Jumlah cacat}} \times 100\% \\ &= \frac{7922}{29918} \times 100\% \\ &= 26.478\% \end{aligned}$$

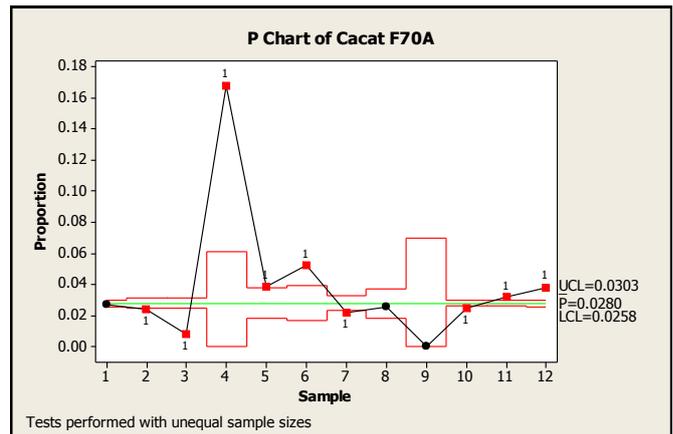
b). Persentase kumulatif

$$\begin{aligned} \%Kumulatif &= \%Kumulatif a + \text{Kumulatif b} \\ &= 26.478\% + 13.198\% \\ &= 39.677\% \end{aligned}$$

Hasil pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa jenis cacat yang paling dominan terjadi yaitu pada cacat F70A (*serrated edge*) sebanyak 26.478%. Menurut [14], berdasarkan prinsip pareto 80/20 dimana menyatakan 20% cacat menyebabkan 80% masalah kecacatan dari keseluruhan proses produksi. Maka dari itu cacat F70A (*serrated edge*) menjadi permasalahan utama dari penelitian ini. Berdasarkan hasil pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa data yang diperoleh tidak seluruhnya berada pada dalam batas kendali. Terdapat data yang di luar batas kendali yaitu pada bulan Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Oktober, November, dan Desember. Jika terdapat data yang keluar dari batas-batas kendali, maka proses tersebut belum stabil [15]. Maka dapat disimpulkan bahwa cacat F70A (*serrated edge*) yang terjadi belum terkendali, yang berarti proses tidak stabil.



Gambar 1. Diagram Pareto jenis cacat.



Gambar 2. Peta kendali p.

Selanjutnya dilakukan pengendalian kualitas melalui peta kendali. Peta kendali yang digunakan yaitu peta kendali p karena digunakan untuk mengevaluasi proporsi kerusakan atau proporsi ketidaksesuaian dari item-item yang tidak memenuhi syarat spesifikasi kualitas atau proporsi produk cacat yang dihasilkan dalam suatu proses [16]. Berikut merupakan perhitungan peta kendali p untuk cacat F70A (*serrated edge*).

Tabel 4. Perhitungan peta kendali p F70A (*serrated edge*).

Bulan	Total produksi	Jumlah cacat	Proporsi	CL	UCL	LCL
Januari	50370	1359	0.02698	0.028	0.030212	0.025801
Februari	24521	589	0.02402		0.031167	0.024845
Maret	22882	181	0.00791		0.031279	0.024734
April	226	38	0.168142		0.060932	0
Mei	2574	99	0.038462		0.037763	0.01825
Juni	1855	97	0.052291		0.039499	0.016514
Juli	10089	223	0.022103		0.032934	0.023079
Agustus	2785	72	0.025853		0.037386	0.018627
September	140	0	0		0.069839	0
Oktober	59995	1507	0.025119		0.030027	0.025986
November	59278	1916	0.032322		0.030039	0.025973
Desember	48149	1841	0.038235		0.030262	0.025751

Tabel 4 merupakan perhitungan manual untuk peta kendali p untuk jenis cacat F70A (*serrated edge*) dari bulan Januari hingga Desember dengan menggunakan persamaan (3) hingga (6). Adapun salah satu contoh perhitungan dari peta kendali p pada Tabel 4 sebagai berikut.

a). Proporsi

$$\begin{aligned} \text{Proporsi} &= \frac{\text{Jumlah cacat}}{\text{Total produksi}} \\ &= \frac{1359}{50370} \\ &= 0.02698. \end{aligned}$$

b). Center line (CL) (\bar{p})

$$\begin{aligned} \bar{p} &= \frac{\sum \text{Total produksi}}{\sum \text{Jumlah cacat}} \\ &= \frac{282.864}{7.922} \\ &= 0.028. \end{aligned}$$

c). Upper center line (UCL)

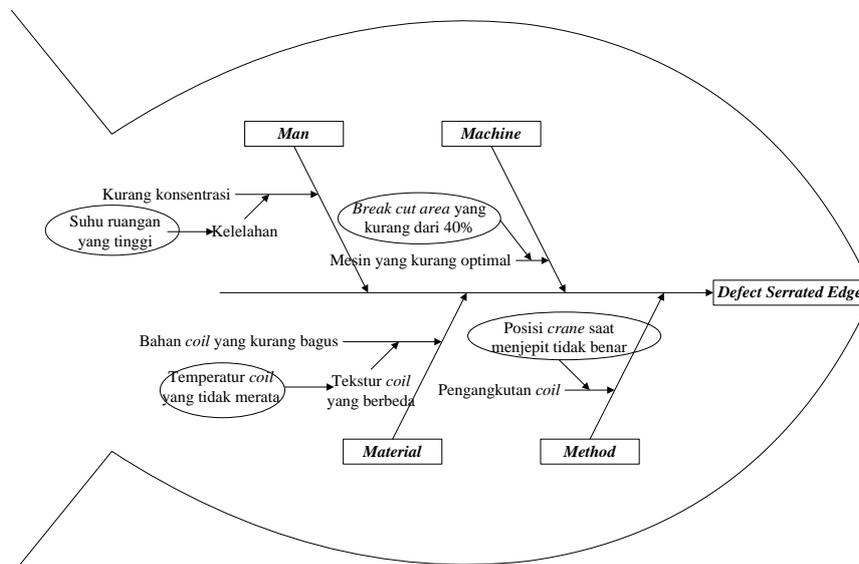
$$\begin{aligned} \text{UCL} &= \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \\ &= 0.028 + 3 \sqrt{\frac{0.028(1-0.028)}{50370}} \\ &= 0.030212. \end{aligned}$$

d). Lower center line (LCL)

$$\begin{aligned} \text{LCL} &= \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \\ &= 0.028 - 3 \sqrt{\frac{0.028(1-0.028)}{50370}} \\ &= 0.025801. \end{aligned}$$

3.2. Diagram Fishbone

Untuk mengetahui faktor-faktor penyebab proses tidak stabil, maka perlu dilakukan analisis menggunakan diagram sebab-akibat atau diagram *fishbone*. Diagram *fishbone* menggambarkan sebab-akibat dimana terdapat garis dan simbol-simbol yang menunjukkan hubungan antara akibat dan penyebab suatu masalah. Berikut merupakan diagram sebab-akibat untuk penyebab cacat F70A (*serrated edge*).



Gambar 3. Diagram sebab-akibat.

Berdasarkan Gambar 4, dapat diketahui faktor-faktor penyebab terjadinya cacat F70A (*serrated edge*) yaitu pada faktor manusia, metode, mesin dan material. Pada faktor manusia terjadinya kesalahan karena operator kurang konsentrasi yang disebabkan oleh kelelahan karena tingginya suhu ruangan tempat operator bekerja. Faktor metode disebabkan oleh pengangkatan coil yang tidak sesuai yaitu posisi crane ketika menjepit coil tidak benar. Cacat F70A (*serrated edge*) juga disebabkan oleh faktor mesin yang kurang optimal karena *break cut area* kurang dari 40%. Untuk faktor material, pada cacat F70A (*serrated edge*) ditemukan temperatur coil sebesar 870°C dimana temperatur tidak merata yang menyebabkan material kurang baik. Setelah identifikasi penyebab masalah, maka dilakukan pemberian solusi untuk mengurangi masalah tersebut dengan menggunakan tabel 5W+2H. Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui apa saja upaya perbaikan yang dapat dilakukan untuk masing-masing faktor, mengapa perlu dilakukan perbaikan tersebut, kapan perbaikan dilakukan, dimana perbaikan dilakukan, siapa yang bertanggung jawab atas perbaikan tersebut, bagaimana perbaikan dilakukan, dan berapa biaya yang akan dikeluarkan untuk perbaikan tersebut.

Tabel 5. 5W+2H.

Faktor	What (Apa)	Why (Mengapa)	When (Kapan)	Where (Dimana)	Who (Siapa)	How (Bagaimana)	How Much (Berapa)
Manusia	Menyediakan air mineral untuk operator	Agar tidak mudah dehidrasi dan tetap berkonsentrasi saat bekerja	Setiap hari	Ruang produksi	Manager produksi	Penyediaan dispenser	Rp 160.000
Metode	Mengatur penyesuaian pengangkatan coil	Agar posisi coil pas	Setiap hari	Ruang produksi	Operator	Pengecekan kembali apakah posisi crane sudah pas	Rp 0
Mesin	Memperbesar <i>break cut area</i>	Agar mengurangi kecacatan	Setiap hari	Ruang produksi	Manager produksi dan operator	Penetapan <i>break cut area</i> lebih dari 40%	Rp 0
Material	Meningkatkan temperatur coil	Agar tekstur coil merata	Setiap hari	Ruang produksi	Manager produksi dan operator	Penetapan temperatur coil agar lebih dari 870°C	Rp 0

3.3. Metode Taguchi

Setelah faktor-faktor penyebab kecacatan diketahui, maka dilakukan pengendalian kualitas untuk meminimalisir jumlah cacat yang terjadi dengan mencari *setting level* yang optimal untuk memproduksi produk dengan menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan salah satu metode peningkatan kualitas dalam proses dan perancangan produk dengan cara melakukan eksperimen [17]. Berikut merupakan pengolahan data dengan menggunakan metode Taguchi pada unit *continuous tandem cold mill* (CTCM) divisi *cold rolling mill* (CRM) di PT. XYZ.

a. Penentuan karakteristik kualitas dan fungsi objektif

Karakteristik kualitas yang diukur dalam penelitian ini adalah jumlah cacat (ton). Dikarenakan karakteristik kualitasnya adalah jumlah cacat yang mana harus diminimalkan, maka fungsi objektif yang dipilih adalah *smaller the better*. *Smaller the better* merupakan fungsi objektif dimana pencapaian karakteristik semakin baik apabila nilainya semakin kecil. Dapat dikatakan jika jumlah cacat lebih kecil maka kualitas yang dihasilkan semakin bagus. Penyumbang kecacatan terbanyak pada unit *continuous tandem cold mill* (CTCM) adalah cacat F70A (*Serrated Edge*).

b. Penentuan faktor kontrol

Penentuan faktor kontrol didasarkan pada diagram sebab-akibat atau *fishbone*, dimana terdapat penyebab-penyebab terjadinya cacat F70A (*Serrated Edge*). Faktor kontrol ini merupakan faktor yang dapat dikendalikan perusahaan yaitu temperatur coil dan *break cut area*.

c. Penentuan jumlah level dan nilai level

Level faktor yang digunakan dalam eksperimen berdasarkan observasi dan wawancara terhadap karyawan bagian produksi di unit *continuous tandem cold mill* (CTCM). Dalam penelitian ini digunakan sebanyak dua level. Data hasil penetapan level dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Penentuan jumlah dan nilai level.

Temperature coil	Break cut area
870	<40
870	≥40
890	<40
890	≥40

Berdasarkan Tabel 2 di atas, diketahui faktor kontrol yang digunakan ada dua yaitu temperatur coil dan *break cut area*. Temperatur coil selanjutnya diberi kode A dan *break cut area* diberi kode B. Level yang digunakan sebanyak dua level untuk masing-masing faktor. Level 1 faktor A adalah 870°C dan level 2 faktor A adalah 890°C. Level 1 faktor B adalah <40% dan level 2 faktor B adalah ≥40%.

d. Penentuan *orthogonal array*

Selanjutnya menentukan matriks *orthogonal array* dengan menghitung *degree of freedom*. Berikut merupakan tabel perhitungan *degree of freedom* untuk faktor kontrol.

Tabel 7. Perhitungan *degree of freedom*.

Faktor kontrol		Df
Kode	Penjelasan	
A	Temperatur coil	(2-1)
B	Break cut area	(2-1)
Total		2

Berikut contoh perhitungan untuk perhitungan *degree of freedom*.

a). *Degree of freedom*

$$D_f \text{ faktor A} = n_A - 1 = 2 - 1 = 1.$$

$$D_f \text{ faktor B} = n_B - 1 = 2 - 1 = 1.$$

b). Total *degree of freedom*

$$\begin{aligned} \text{Total } D_f &= D_f \text{ faktor A} + D_f \text{ faktor B} \\ &= 1 + 1 = 2. \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 7, diketahui bahwa *degree of freedom* dari faktor pada penelitian ini adalah 2. Matriks *orthogonal array* untuk eksperimen dengan jumlah level 2 pada penelitian ini adalah L4(2²), yang mana menunjukkan 2 level, 2 faktor dan 4 eksperimen.

e. Data hasil eksperimen Taguchi

Pada tahap ini dilakukan dua replikasi untuk masing-masing eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan mengkombinasikan dua level faktor. Data hasil eksperimen dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Data hasil eksperimen.

Faktor kontrol		Jumlah cacat	
A	B	1	2
1	1	2	5
1	2	4	5
2	1	3	1
2	2	1	0

f. Perhitungan ANOVA rata-rata

Selanjutnya dilakukan perhitungan ANOVA rata-rata. Perhitungan ANOVA rata-rata dimulai dari mencari rata-rata dari jumlah cacat. Tabel 9 merupakan tabel perhitungan rata-rata jumlah cacat berdasarkan eksperimen. Rata-rata jumlah cacat dapat dicari dengan menggunakan persamaan (7). Setelah menghitung rata-rata jumlah cacat, kemudian dibuat tabel respon. Tabel respon digunakan untuk mengidentifikasi peringkat atau rank dan juga level yang paling baik dari faktor-faktor kontrol tersebut. Tabel 10 merupakan tabel respon pada penelitian ini.

Tabel 9. Perhitungan rata-rata jumlah cacat.

Eksperimen	Faktor kontrol		Jumlah cacat		Rata-rata
	A	B	1	2	
1	1	1	2	5	3.5
2	1	2	4	5	4.5
3	2	1	3	1	2
4	2	2	1	0	0.5

Tabel 10. Tabel respon.

	Faktor	
	A	B
Level 1	4	2.75
Level 2	1.25	1.5
Diff	2.75	0.25
Rank	1	2

Perhitungan pada tabel respon didapatkan dengan menggunakan persamaan (8) dan (9). Contoh perhitungan untuk tabel respon sebagai berikut.

a). Faktor A level 1

$$\begin{aligned} (\bar{A}_1) &= \frac{\sum \text{Rata-rata level 1 pada faktor A}}{n} \\ &= \frac{3.5 + 4.5}{2} = 4. \end{aligned}$$

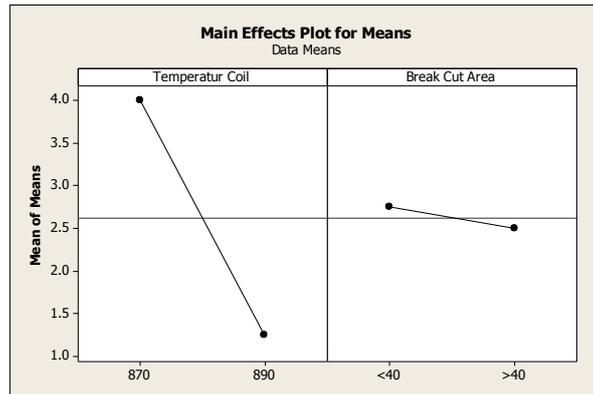
b). Selisih

$$\begin{aligned} \text{Diff} &= \text{Max. Faktor A} - \text{Min. Faktor A} \\ &= 4 - 1.25 = 2.75. \end{aligned}$$

Perhitungan pada Gambar 4 merupakan analisis data metode Taguchi untuk mendapatkan tabel respon yang diolah dengan menggunakan bantuan software Minitab 16. Sedangkan Untuk mempermudah pengambilan informasi, dapat juga dibuat sebuah grafik seperti pada Gambar 5, dimana menunjukkan *main effects plot for means*.

Taguchi Analysis: 1, 2 versus Temperatur Coil, Break Cut Area		
Response Table for Means		
	Temperatur Coil	Break Cut Area
Level 1	4.000	2.750
Level 2	1.250	2.500
Delta	2.750	0.250
Rank	1	2

Gambar 4. Response table for means.



Gambar 5. Main effects plot for means.

Grafik pada Gambar 5 dapat diketahui bahwa level faktor yang paling optimal untuk tabel respon. Rata-rata masing-masing faktor adalah level 2 untuk faktor A (temperatur coil) yaitu 890°C dan level 2 untuk faktor B (*break cut area*) yaitu $\geq 40\%$. Selanjutnya dihitung untuk ANOVA rata-rata. Tabel 11 merupakan tabel perhitungan untuk ANOVA rata-rata. Faktor dikatakan memiliki pengaruh yang signifikan jika nilai F-hitung lebih besar dari F-tabel maka faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan, sebaliknya jika nilai F-hitung lebih kecil dari F-tabel maka faktor tersebut tidak memiliki pengaruh yang signifikan.

Tabel 11. ANOVA rata-rata.

Sumber	SS	Df	MS	F _{ratio}	SS'	Rasio%
A	15.125	1	15.125	7.12	13	50.242
B	0.125	1	0.125	0.06	-2	-7.729
error	10.625	5	2.125	1.00	14.875	57.488
SS _i	25.875	7			25.875	100
Mean	55.125	1				
SS _{total}	81	8				

Perhitungan pada Tabel 11 dihitung dengan menggunakan persamaan (10) hingga (21). Berikut contoh perhitungan untuk tabel di atas.

a). Jumlah kuadrat total (SS_{total})

$$\begin{aligned}
 SS_{total} &= \sum y^2 \\
 &= 2^2 + 4^2 + 3^2 + 1^2 + 5^2 + 5^2 + 1^2 + 0^2 \\
 &= 81.
 \end{aligned}$$

b). Jumlah rata-rata kuadrat (SS_{mean})

$$\begin{aligned}
 SS_{mean} &= n \times \bar{y}^2 \\
 &= n \times \left(\frac{\text{Total Cacat}}{n} \right)^2 \\
 &= 8 \times \left(\frac{2 + 4 + 3 + 1 + 5 + 5 + 1 + 0}{8} \right)^2 \\
 &= 55.125.
 \end{aligned}$$

c). Jumlah kuadrat masing-masing faktor (SS_A dan SS_B)

$$\begin{aligned}
 SS_A &= ((\bar{A}_1)^2 \times n_1) + ((\bar{A}_2)^2 \times n_2) - SS_{mean} \\
 &= (4 \times 2) + (1.25 \times 2) - 55.125 \\
 &= 15.125.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_B &= ((\bar{B}_1)^2 \times n_1) + ((\bar{B}_2)^2 \times n_2) - SS_{mean} \\
 &= (2.75 \times 2) + (2.5 \times 2) - 55.125 \\
 &= 0.125.
 \end{aligned}$$

d). Jumlah kuadrat error (SS_{error})

$$\begin{aligned}
 SS_{error} &= SS_{total} - SS_{mean} - SS_A - SS_B \\
 &= 81 - 55.125 - 15.125 - 0.125 \\
 &= 10.625.
 \end{aligned}$$

e). Derajat kebebasan faktor (D_f)

$$\begin{aligned}
 D_f A &= (\text{Number of level} - 1) \\
 &= 2 - 1 = 1.
 \end{aligned}$$

f). Derajat kebebasan total

$$D_f SS_t = (\text{Number of experiment} - 1) \\ = 8 - 1 = 7.$$

g). Rata-rata jumlah kuadrat (MS)

$$MS_A = \frac{SS_A}{Df_A} \\ = \frac{15.125}{1} = 15.125.$$

h). Ratio (F_{ratio})

$$F_{ratio A} = \frac{MS_A}{MS_{error}} \\ = \frac{15.125}{2.125} \\ = 7.12.$$

i). SS' masing-masing faktor

$$SS'_{faktor} = SS_{faktor} - (Df_{faktor} \times MS_{error}) \\ = 15,125 - (1 \times 2,125) \\ = 13.$$

$$SS'_{error} = SS_t - (SS'_A + SS'_B) \\ = 25.875 - (13 + (-2)) \\ = 14.875.$$

j). Persentase ratio akhir masing-masing faktor ($\rho\%$)

$$\rho\% A = \frac{SS'_A}{SS_t} \times 100\% \\ = \frac{13}{25.875} \times 100\% \\ = 50.242\%.$$

Tabel 11 diketahui bahwa faktor A memiliki nilai $F_{ratio} > F_{tabel}$ ($F_{0.05}(1;5) = 6.61$). Hal tersebut menunjukkan bahwa faktor A yaitu temperatur coil memiliki pengaruh terhadap terhadap kualitas produk *cold rolled coil* (CRC). Sedangkan faktor B memiliki nilai $F_{ratio} < F_{tabel}$ ($F_{0.05}(1;5) = 6.61$) yang artinya faktor B yaitu *break cut area* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas produk.

g. *Pooling up*

Dikarenakan faktor B tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap cacat maka dilakukan strategi *pooling up*, dimana strategi ini dirancang Taguchi untuk mengestimasi variansi *error* pada analisis varian yaitu dengan mengumpulkan faktor-faktor yang tidak signifikan sebagai *error*. Berikut merupakan tabel *pooling up* faktor B.

Tabel 12. *Pooling up*.

Sumber	SS	Df	MS	F_{ratio}	SS'	Rasio%
A	15.125	1	15.125	7.12	13	50.242
<i>Pooled e</i>	10.750	6	1.792	1.00	12.875	49.778
SS_t	25.875	7			25.875	100
<i>Mean</i>	55.125	1				
SS_{total}	81	8				

Dari perhitungan Tabel 12 strategi *pooling up* yang dilakukan didapatkan hasil sebesar 49,778% dapat diartikan bahwa semua faktor yang signifikan mempengaruhi nilai rata-rata sudah cukup untuk dimasukkan dalam eksperimen. Perhitungan pada Tabel 12 menggunakan persamaan (22) hingga (24). Berikut ini merupakan perhitungan untuk *pooling up* faktor B.

a). Jumlah kuadrat *pooled e*

$$SS (\text{pooled } e) = SS_{error} + SS_B \\ = 10.625 + 0.125 = 10.750.$$

b). *Degree of freedom pooled e*

$$D_f (\text{pooled } e) = Df_{error} + Df_B \\ = 5 + 1 = 6.$$

c). Rata-rata jumlah kuadrat *pooled e*

$$MS_{pooled e} = \frac{SS_{pooled e}}{Df_{pooled e}} \\ = \frac{10.750}{6} = 1.792.$$

h. Perhitungan ANOVA *signal to noise ratio* (SNR)

Tahap selanjutnya yaitu perhitungan ANOVA *signal to noise ratio* (SNR). Perhitungan ini dimulai dengan perhitungan *signal to noise ratio* (SNR). Tabel 13 merupakan perhitungan *signal to noise ratio* (SNR).

Tabel 13. Perhitungan *signal to noise ratio* (SNR).

Eksperimen	Faktor kontrol		Jumlah cacat		MSD	SNR
	A	B	1	2		
1	1	1	2	5	14.5	-11.614
2	1	2	4	5	20.5	-13.118
3	2	1	3	1	5	-6.990
4	2	2	1	0	0.5	3.010

Perhitungan pada Tabel 13 menggunakan persamaan (25) dan (26). Contoh perhitungan rata-rata jumlah cacat sebagai berikut.

a). Mean squared deviation (MSD)

$$MSD = \frac{1}{n} \sum y^2$$

$$= \frac{2^2 + 5^2}{2} = 14.5.$$

b). Signal to noise ratio (SNR)

$$SNR = -10 \log (MSD)$$

$$= -10 \log (14.5) = -11.614.$$

Selanjutnya adalah membuat tabel respon *signal to noise ratio* (SNR). Tabel 14 adalah tabel perhitungan respon *signal to noise ratio* (SNR).

Tabel 14. Respon *signal to noise ratio* (SNR).

	Faktor	
	A	B
Level 1	-12.366	-9.302
Level 2	-1.990	-5.054
Diff	10.376	4.248
Rank	1	2

Perhitungan pada Tabel 14 menggunakan persamaan (27) dan (28). Perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 16 tampak pada Gambar 6. Sedangkan Gambar 7 merupakan gambar *main effects plot for SNR*, dimana untuk mempermudah pengambilan informasi terkait SNR. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk tabel respon SNR.

a). Faktor A Level 1

$$(\bar{A}_1) = \frac{\sum \text{Rata-Rata Level 1 pada Faktor A}}{n}$$

$$= \frac{(-11.614) + (-12.118)}{2} = -12.366.$$

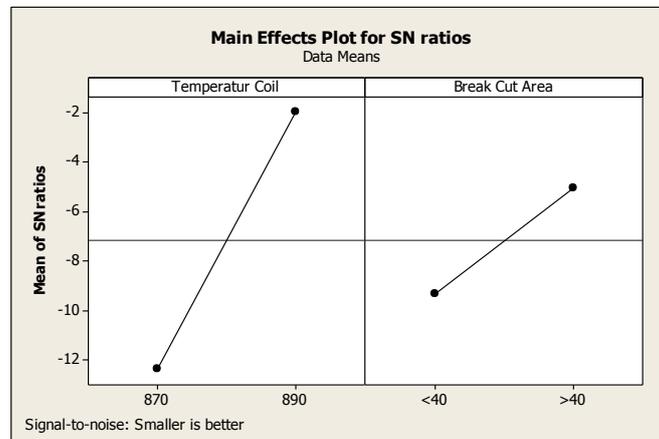
b). Selisih

$$Diff = \text{Max. Faktor A} - \text{Min. Faktor A}$$

$$= -1.990 - (-12.366) = 10.376.$$

Level	Temperatur Coil	Break Cut Area
1	-12.366	-9.302
2	-1.990	-5.054
Delta	10.376	4.248
Rank	1	2

Gambar 6. Response table for SNR.



Gambar 7. Main effects plot for SNR.

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa level faktor yang paling optimal untuk masing-masing faktor adalah level 2 untuk faktor A (*temperature coil*) yaitu 890°C dan level 2 untuk faktor B (*break cut area*) yaitu $\geq 40\%$ dilihat berdasarkan nilai respon terbesar. Kemudian dilakukan perhitungan ANOVA *signal to noise ratio* (SNR) untuk menunjukkan nilai kontribusi. Tabel 15 merupakan tabel perhitungan untuk ANOVA *signal to noise ratio* (SNR).

Tabel 15. ANOVA *signal to noise ratio* (SNR).

Sumber	Pooled	SS	Df	MS	F _{ratio}	SS'	Rasio%
A		107.66	1	53.83	6.32	99.138	62.433
B	√	18.05	1				
Error	√	33.08	5				
Pooled		51.130	6	8.522	1	59.652	37.567
SS _t		158.790	7			158.790	100
Mean		206.075	1				
SS _{total}		364.865	8				

Berdasarkan Tabel 15 maka didapatkan nilai persen kontribusi faktor A sebesar 62.433% dan nilai persen kontribusi *error* sebesar 37,567%. Perhitungan pada Tabel 15 dihitung menggunakan persamaan (29) hingga (41). Berikut merupakan contoh perhitungan untuk tabel ANOVA *signal to noise ratio* (SNR) pada Tabel 15.

a). Jumlah kuadrat total (SS_{total})

$$\begin{aligned} SS_{total} &= \sum y^2 \\ &= (-11.614)^2 + (-13.118)^2 + (-6.990)^2 + (3.010)^2 \\ &= 33. \end{aligned}$$

b). Jumlah rata-rata kuadrat (SS_{mean})

$$\begin{aligned} SS_{mean} &= n \times \bar{y}^2 \\ &= n \times \left(\frac{\text{Total SNR}}{n} \right)^2 \\ &= 4 \times \left(\frac{(-11.614) + (-13.118) + (-6.990) + 3.010}{4} \right)^2 \\ &= -7.178. \end{aligned}$$

c). Jumlah kuadrat masing-masing faktor (SS_A dan SS_B)

$$\begin{aligned} SS_A &= ((\bar{A}_1)^2 \times n_1) + ((\bar{A}_2)^2 \times n_2) - SS_{mean} \\ &= ((-12.366)^2 \times 2) + ((-1.990)^2 \times 2) - 21.125 \\ &= 107.66. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_B &= ((\bar{B}_1)^2 \times n_1) + ((\bar{B}_2)^2 \times n_2) - SS_{mean} \\ &= ((-9.302)^2 \times 2) + ((-5.054)^2 \times 2) - 21.125 \\ &= 18.050. \end{aligned}$$

d). Jumlah kuadrat *error* (SS_{error})

$$\begin{aligned} SS_{pooled} &= SS_{error} + SS_B \\ &= 364.865 - 206.075 - 107.66 - 18.05 \\ &= 33.080. \end{aligned}$$

e). Jumlah kuadrat *pooled* (SS_{pooled})

$$\begin{aligned} SS_{pooled} &= SS_{error} + SS_B \\ &= 33.080 + 18.050 \\ &= 51.130. \end{aligned}$$

f). Derajat kebebasan faktor (D_f)

$$\begin{aligned} D_f A &= (\text{Number of level} - 1) \\ &= 2 - 1 \\ &= 1. \end{aligned}$$

g). Derajat kebebasan total

$$\begin{aligned} D_f SS_t &= (\text{Number of experiment} - 1) \\ &= 8 - 1 \\ &= 7. \end{aligned}$$

h). Rata-rata jumlah kuadrat (MS)

$$\begin{aligned} MS_A &= \frac{SS_A}{D_f A} \\ &= \frac{107.66}{1} \\ &= 107.66. \end{aligned}$$

i). *Ratio* (F_{ratio})

$$\begin{aligned} F_{ratio} A &= \frac{MS_A}{MS_{pooled}} \\ &= \frac{107.66}{8.522} \\ &= 6.32. \end{aligned}$$

j). SS' masing-masing faktor

$$\begin{aligned} SS'_{faktor} &= SS_{faktor} - (D_{faktor} \times MS_{pooled}) \\ &= 107.66 - (1 \times 8.522) \\ &= 99.138. \\ SS'_{pooled} &= SS_t - SS'_A \\ &= 158.790 - 99.138 \\ &= 59.652. \end{aligned}$$

k). Persentase *ratio* akhir masing-masing faktor ($\rho\%$)

$$\begin{aligned} \rho\% A &= \frac{SS'_A}{SS_t} \times 100\% \\ &= \frac{99.138}{158.79} \times 100\% \\ &= 62.433\%. \end{aligned}$$

i. Penentuan *setting level* optimal

Tahap terakhir yaitu menentukan *setting level* optimal sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas, yaitu dengan mencari kombinasi pengaturan level agar produk sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Tabel 16 merupakan tabel kombinasi level yang optimal dalam peningkatan kualitas produk.

Tabel 16. *Setting level* optimal.

Faktor	Pengaruh	Setting level	Keterangan
A	Signifikan dan pengaruh besar	A2	Temperature coil 890°C
B	Signifikan dan pengaruh kecil	B2	Break cut area $\geq 40\%$

Berdasarkan Tabel 16 didapatkan kesimpulan bahwa kombinasi level yang optimal untuk meningkatkan kualitas dari produk *cold rolled coil* (CRC) pada *continuous tandem cold mill* (CTCM) divisi *cold rolling mill* (CRM) di PT. XYZ yaitu faktor A dengan level 2 (*temperature coil* 890°C) dan faktor B dengan level 2 (*break cut area* $\geq 40\%$).

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa jenis karakteristik cacat yang paling dominan terjadi adalah cacat F70A, yaitu *serrated edge* yaitu cacat pada coil karena adanya sisi coil yang retak atau pecah yang menyebabkan sisi coil tersebut menjadi bergerigi. Cacat F70A (*serrated edge*) yang terjadi pada Tahun 2019 dapat dikatakan tidak terkendali secara statistik, karena pada peta kendali p untuk cacat F70A (*serrated edge*) terdapat data yang keluar dari batas kendali yaitu pada bulan Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Oktober, November, dan Desember.

Faktor-faktor yang menyebabkan cacat F70A (*serrated edge*) yaitu karena operator kurang konsentrasi, mesin yang kurang optimal, bahan coil yang kurang bagus, dan posisi crane saat pengangkatan coil kurang pas. Upaya perbaikan yang dapat dilakukan setelah dilakukan penelitian ini yaitu dengan metode Taguchi berupa kombinasi *setting level* yang terbaik untuk mengurangi cacat F70A (*Serrated Edge*) yaitu menjaga temperatur coil sebesar 890°C dan *break cut area* dengan $\geq 40\%$ area pemotongan atau pemakanan coil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putra, R. dan Hasyir D.A. (2016). Pengaruh biaya pencegahan dan biaya penilaian terhadap kuantitas produk cacat. *Jurnal Akuntansi*, vol. 8, no. 2, pp. 225–236.
- [2] Naik, A. B., & Reddy, A. C. (2018). Optimization of tensile strength in TIG welding using Taguchi method and analysis of variance (ANOVA). *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 8, pp. 327–339. doi: 10.1016/j.tsep.2018.08.005.
- [3] Kumar, S., & Singh, R. (2019). Optimization of process parameters of metal inert gas welding with preheating on AISI 1018 mild steel using grey based Taguchi method. *Measurement*, vol. 148, pp. 106924. doi: 10.1016/j.measurement.2019.106924.
- [4] Sengottuvelan, M., Sivakumar, K., & Nandagopal, M. (2018). Study on cold metal defect in Pump Mounting Flange using Taguchi Approach. *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 11, pp. 25212–25218. doi: 10.1016/j.matpr.2018.10.323.
- [5] Tsai, T.-N. (2011). Improving the fine-pitch stencil printing capability using the Taguchi method and Taguchi fuzzy-based model. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 27, no. 4, pp. 808–817. doi: 10.1016/j.rcim.2011.01.002.
- [6] Yeh, J.-H., & Tsai, T.-N. (2014). Optimizing the fine-pitch copper wire bonding process with multiple quality characteristics using a grey-fuzzy Taguchi method. *Microelectronics Reliability*, vol. 54, no. 1, pp. 287–296. doi: 10.1016/j.microrel.2013.09.001.
- [7] Piña-Monarez, M. R., & Ortiz-Yañez, J. F. (2015). Weibull and lognormal Taguchi analysis using multiple linear regression. *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 144, pp. 244–253. doi: 10.1016/j.res.2015.08.004.
- [8] Krogstie, L., Gaarder, A., & Andersen, B. (2014). Variation analysis in collaborative engineering; an industrial case study of rocket motor development. *Procedia CIRP*, vol. 21, pp. 306–311. doi: 10.1016/j.procir.2014.03.157.
- [9] Liang, Y., Ershun, P., & Lifeng, X. (2008). Adaptive SPC monitoring scheme for DOE-based APC. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 19, no. 2, pp. 329–336. doi: 10.1016/s1004-4132(08)60087-0.
- [10] Trenggonowati D. L., & Arafiany N. M. (2018). Pengendalian kualitas produk baja tulangan sirip 25 dengan menggunakan metode SPC di PT. Krakatau Wajutama Tbk. *JISS: Journal Industrial Servicess*, vol. 3, no. 2, pp. 122–131. doi: 10.36055/jiss.v3i2.3188.
- [11] Devani V., & Wahyuni F. (2016). Pengendalian kualitas kertas dengan menggunakan *statistical process control* di paper machine 3. *JITI: Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 15, no. 2, pp. 87–93. doi: 10.23917/jiti.v15i2.1504.
- [12] Anggraini D., Dewi, S. K., & Saputro, T. E. (2015). Aplikasi metode Taguchi untuk menurunkan tingkat kecacatan pada produk paving. *Jurnal Teknik Industri*, vol. 16, no. 1, pp. 1–9. doi: 10.22219/JTIUMM.Vol16.No1.1-9.
- [13] Gardiner, W. P., & Gettinby, G. (1998). Taguchi methods. In *Experimental Design Techniques In Statistical Practice*, pp. 289–321. doi:10.1533/9780857099785.289. Chichester: Woodhead Publishing.
- [14] Trenggonowati D. L., Ridwan A., & Priantama M. N. R. (2019). Usulan pengendalian kualitas GGBFS menggunakan metode *six sigma* di PT. Krakatau Semen Indonesia. *Journal Industrial Servicess*, vol. 5, no. 1, pp. 4–9. doi: 10.36055/jiss.v5i1.6492.
- [15] Abdullah, M. A. (2015). Aplikasi peta kendali statistik dalam mengontrol hasil produksi suatu perusahaan. *Jurnal Saintifik*, vol. 1, no. 1, pp. 5–13. doi: 10.31605/saintifik.v1i1.71.
- [16] Ramadhani, G. S., Yuciana, Wilandari Y., & Suparti. (2014). Analisis pengendalian kualitas menggunakan diagram kendali demerit (Studi kasus produksi air minum dalam kemasan 240 ml di PT TIW). *Jurnal Gaussian*, vol. 3, no. 3, pp. 401–410. doi: 10.14710/j.gauss.v3i3.6451.
- [17] Harahap B., Hernawati T., & Hasibuan A. R. (2018). Analisa mutu minyak kelapa sawit dengan metode Taguchi (Studi kasus di PT. Sumber Sawit Makmur). *Buletin Utama Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 81–91.
- [18] Agustina, D. K. (2017). Analisis pengendalian kualitas pada proses pengemasan yoghurt dengan metode six sigma dan fuzzy FMEA (*failure modes and effect analysis*)(studi kasus di PT Kusumasatria Agrobio Taniperkasa, Batu, Jawa Timur. *Disertasi*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [19] Afani, N. (2018). Desain eksperimen pembuatan petis udang *grade A* dengan menggunakan pendekatan metode Taguchi pada UD. Agung Jaya di Kecamatan Bunga Gresik. *Disertasi*. Gresik: Universitas Muhammadiyah Gresik.
- [20] Prakasa, A., Sutisna, S. P., & Ahmad, A. R. (2018). Penentuan setting optimal mesin 3D printer berbasis *fused deposition modeling* menggunakan metode Taguchi. *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 69–75.
- [21] Kastanja, D. M., Setyanto, N. W., & Efranto, R. Y. (2015). Aplikasi metode Taguchi untuk mereduksi jumlah produk cacat/lin standar HAN 17 (Studi kasus: CV. Dwi Pelita Mas). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, vol. 3, no. 3, pp. 568–579.