



Optimasi Taguchi Menggunakan Metode Vikor dalam Pemilihan Ban Mobil

Taguchi Optimization Using VIKOR Methods in Car Tire Selection

Fauzhia Rahmasari*, Fogot Endro Wibowo dan Thoriq Aziz Taufiqurrahman

Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya, Jl. Raya Bogor Km. 28,8 Cimanggis, Jakarta Timur, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
26/10/2021
Direvisi:
30/11/2021
Disetujui:
10/12/2021

Abstract

The main functions of tire are to withstand the vehicle's load, continue the steering function and control the vehicle's direction, transmit the driving force and vehicle's braking on the road surface and reduce shock vibrations from the road surface. Therefore, optimal tire selection is something that needs to be considered for driving perfection. Taguchi methods is one of experimental design methods that is often used because of considerations of effectiveness and efficiency. However, Taguchi methods only can be used to solve a single response optimization problem. When dealing with multi-response problems, the responses are analyzed separately. This study aims to optimize Taguchi design using VIKOR method in production of car tires. The experimental design and responses used in this study were derived from car tire production data which analyzed using VIKOR methods and selected based on the optimum value to obtain the optimal combination of factors levels. The results of Taguchi's analysis are the first and third responses indicating the 16th experiment and second response indicating the 14th experiment which is the optimal combination. It can be concluded that Taguchi methods is inconsistent in producing optimal combination of levels of factors when dealing with multi-response problems, so additional methods are needed as Taguchi optimization methods in solving multi-response problems, including using VIKOR methods which results in the 2nd experiment being optimal combination.

Keywords: Taguchi optimization, VIKOR methods.

Abstrak

Fungsi utama ban adalah menahan beban kendaraan, meneruskan fungsi kemudi dan mengontrol arah kendaraan, meneruskan gaya gerak dan pengereman kendaraan dipermukaan jalan serta meredam getaran kejutan dari permukaan jalan. Oleh karena itu, pemilihan ban secara optimal menjadi hal yang perlu diperhatikan demi kesempurnaan berkendara. Metode Taguchi menjadi salah satu metode perancangan percobaan yang sering digunakan karena pertimbangan efektif dan efisien. Namun, metode Taguchi hanya dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi respon tunggal. Ketika berhadapan dengan persoalan multirespon, maka respon dianalisis terpisah. Penelitian ini bertujuan untuk optimasi rancangan Taguchi menggunakan metode VIKOR pada produksi ban mobil. Rancangan percobaan dan respon-respon yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data produksi ban mobil dianalisis menggunakan metode VIKOR dan dipilih berdasarkan nilai yang optimum untuk memperoleh kombinasi optimal level dari faktor. Hasil analisis Taguchi, menghasilkan respon pertama dan ketiga menunjukkan percobaan ke-16 dan respon kedua menunjukkan percobaan ke-14 yang merupakan kombinasi optimal. Dapat disimpulkan bahwa metode Taguchi tidak konsisten dalam menghasilkan kombinasi optimal level dari faktor ketika berhadapan dengan persoalan multirespon, sehingga dibutuhkan metode tambahan sebagai metode optimasi Taguchi dalam menyelesaikan masalah multirespon, diantaranya menggunakan metode VIKOR yang menghasilkan percobaan ke-2 merupakan kombinasi optimal.

Kata Kunci: optimasi Taguchi, metode VIKOR.

* Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: -
email : fauziahrahmasari@ftjayabaya.ac.id



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

1. PENDAHULUAN

Perusahaan manufaktur di seluruh dunia dipengaruhi oleh globalisasi dan dipaksa untuk menjadi lebih kompetitif setiap harinya untuk mempertahankan profitabilitas mereka. Implementasi kualitas secara total merupakan prinsip yang diterapkan sebagai salah satu indikator terkuat dari daya saing perusahaan. Kualitas atau mutu adalah tingkat baik buruknya atau taraf atau derajat sesuatu. Istilah ini banyak digunakan dalam kaitannya dengan teknik dan konsep untuk memperbaiki kualitas produk atau jasa. Sangatlah mustahil menghasilkan produk dan jasa yang berkualitas tanpa melalui manusia dan produk yang berkualitas. Kualitas yang bagus adalah jika kombinasi antar parameter prosesnya sesuai. Kombinasi yang optimal diperoleh dengan cara optimasi. Optimasi didefinisikan sebagai pencarian nilai-nilai peubah yang dianggap optimal, efektif, dan efisien untuk mencapai hasil yang diinginkan (Adalarasan, dkk., 2014). Salah satu perusahaan manufaktur bergerak di bidang otomotif, dimana memproduksi komponen-komponen kendaraan bermotor diantaranya memproduksi ban. Ban mempunyai peranan yang sangat penting dalam berkendara, jika dibandingkan dengan suku cadang (*spare part*) yang lain (Almanaf, 2015). Fungsi utama dari ban adalah menyangga/menahan beban kendaraan, meneruskan fungsi kemudi dan mengontrol arah kendaraan, meneruskan gaya gerak dan pengereman kendaraan di permukaan jalan serta meredam getaran kejutan dari permukaan jalan (Ratmani 2011). Oleh karena itu, produksi ban secara optimal menjadi hal yang perlu diperhatikan demi kesempurnaan kendaraan bermotor (Sunanto, dkk., 2013).

Metode Taguchi menjadi salah satu metode perancangan percobaan yang sering digunakan, karena pertimbangan efektif dan efisien. Metode Taguchi adalah pendekatan efisien yang menggunakan perancangan percobaan untuk menghasilkan kombinasi faktor atau level yang dapat dikendalikan dengan memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin (Selvam dan Senthil 2015). Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran itu dengan

menjadikan produk atau proses “tidak sensitif” terhadap berbagai faktor seperti misalnya material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi menjadikan produk atau proses bersifat kekar (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai perancangan kekar (*robust design*) (Ho, dkk., 2014). Namun metode Taguchi hanya dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi respon tunggal. Ketika berhadapan dengan persoalan multirespon, penyelesaian secara parsial untuk masing-masing respon menjadi tidak efektif dan menimbulkan kombinasi level parameter optimal yang tidak konsisten antar respon dikarenakan tidak semua respon memiliki karakteristik yang sama (Kutner, dkk., 2014). Dengan demikian dibutuhkan perhitungan statistika untuk mengetahui kombinasi yang tepat dalam kasus perancangan percobaan multirespon (Sathees dan Dhas 2013).

Mengoptimalkan masalah multirespon telah menjadi isu yang semakin relevan ketika lebih dari satu karakteristik kualitas produk yang berkorelasi sehingga harus dinilai secara bersamaan dalam proses manufaktur yang rumit. Optimasi multirespon metode Taguchi dapat dilakukan dengan metode VIKOR (Ali, dkk., 2017). Metode VIKOR (*Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje in Serbian*) merupakan suatu metode peringkat yang mempertimbangkan kondisi antar respon yang digunakan untuk *multicriteria decision making* (MCDM) (Rahmanto 2015). Prosedur MCDM dapat digunakan untuk menentukan solusi optimal antara beberapa alternatif yang bertentangan. Metode optimasi akan menghasilkan kombinasi optimal level dari faktor-faktor yang dicobakan, namun hasilnya terkadang tidak konsisten sehingga produknya kurang berkualitas (Yurianto, dkk., 2018). Hal tersebut terjadi karena prosedur optimasi yang ada mengabaikan keragaman dalam kerugian kualitas untuk multirespon. Kelemahan ini dapat diatasi dengan metode VIKOR. Metode VIKOR bertujuan untuk meminimalkan kerugian kualitas.

Pada penelitian ini akan dibuktikan bahwa metode Taguchi tidak konsisten dalam menghasilkan kombinasi optimal level dari faktor

ketika berhadapan dengan persoalan multirespon, sehingga dibutuhkan metode tambahan sebagai metode optimasi Taguchi dalam menyelesaikan masalah multirespon salah satunya menggunakan metode VIKOR untuk menghasilkan kombinasi optimal level dari faktor dalam pemilihan ban mobil.

2. METODOLOGI

2.1. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini ada variabel respon dan variabel bebas. Variabel respon yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Durable (awet) (Y_1)
2. Low Noise (kebisingan) (Y_2)
3. Steer (kontrol) (Y_3)

Terdapat lima faktor dan tiga level yang digunakan sebagai variabel bebas pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Variabel bebas

Faktor	Level
A Kedalaman tapak ban	Level 1: 8 mm Level 2: 7.9 mm Level 3: 7.4 mm
B Ratio beban maksimum ban	Level 1: 91 (615 kg) Level 2: 88 (560 kg) Level 3: 87 (545 kg)
C Ratio batas kecepatan maksimum ban	Level 1: H (210 km/jam) Level 2: V (240 km/jam) Level 3: W (270 km/jam)
D Rating daya cengkeram ban	Level 1: AA (>0.54 g-Force) Level 2: A (>0.47 g-Force) Level 3: B (>0.38 g-Force)
E Daya tahan ban terhadap suhu tinggi pada kecepatan tertentu	Level 1: A (>185 km/jam) Level 2: B (160-185 km/jam) Level 3: C (136-160 km/jam)

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan peninjauan internal pada bagian produksi ban mobil perusahaan tersebut. Setelah dilakukan peninjauan internal secara keseluruhan, dilakukan identifikasi respon, faktor serta level yang berpengaruh dalam optimasi produksi ban mobil.

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapat dari sumber secara langsung meliputi wawancara dan dokumentasi. Data primer diperoleh dari hasil wawancara dengan pihak produksi ban mobil. Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari studi literatur.

2.2. Metode Penelitian

Rancangan percobaan dan respon-respon yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data produksi ban mobil. Rancangan percobaan terdiri dari 3 respon dan 5 faktor, dengan masing-masing faktor terdiri dari 3 level. Respon pertama berkarakteristik *larger the better* (Y_1), respon kedua berkarakteristik *smaller the better* (Y_2), dan respon ketiga berkarakteristik *larger the better* (Y_3).

Kombinasi level untuk lima faktor disebut matriks orthogonal (L_{18}). Bilangan 18 menyatakan banyaknya percobaan. Adapun matriks orthogonal yang digunakan sebagai berikut:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 2 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 3 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 3 & 3 & 1 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 3 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 2 & 2 & 3 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 3 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 2 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

Penelitian ini mengusulkan prosedur optimasi untuk multirespon berdasarkan rancangan parameter Taguchi. Terdapat beberapa langkah-langkah untuk mencapai tujuan penelitian, sehingga perlu dilakukan tahapan analisis data sebagai berikut:

1. Menganalisis data menggunakan metode Taguchi (ambil satu buah matriks respon sebagai contoh). Namun karena metode

Taguchi hanya dapat menyelesaikan masalah optimasi respon tunggal, maka respon dianalisis masing-masing menggunakan metode Taguchi. Adapun langkah-langkah dalam menganalisis data sebagai berikut:

- a. Melihat pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata respon. Adapun langkah penyelesaiannya sebagai berikut:
 - ✓ Menghitung rata-rata respon masing-masing faktor untuk setiap level.
 - ✓ Memilih faktor dengan level optimal sesuai dengan karakteristik respon.
 - ✓ Membuat ANOVA untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon. Jika tidak ada faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon, dapat menggunakan strategi *pooling up*.
 - ✓ Interpretasi hasil dengan menghitung persen kontribusi dan menghitung dugaan rata-rata respon yang optimal menggunakan persamaan:

$$\rho_A = \frac{JK'_A}{JK_T} \times 100 \% \quad (1)$$

dengan:

$$JK'_A : JK_A - (db_A)(KT_g)$$

ρ_A : persen kontribusi faktor A

- b. Melihat pengaruh level dari faktor terhadap keragaman respon. Adapun langkah penyelesaiannya sebagai berikut:

- ✓ Respon ditransformasikan ke dalam bentuk rasio S/N menggunakan persamaan:

- *Smaller the better*

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{c} \sum_{i=1}^c y_i^2 \right) \quad (2)$$

- *Larger the better*

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3)$$

dengan:

c : banyak percobaan

y_i : nilai respon percobaan ke- i

- ✓ Menghitung rata-rata rasio S/N masing-masing faktor untuk setiap level.
- ✓ Memilih faktor dengan level optimal sesuai dengan karakteristik respon.

- ✓ Membuat ANOVA untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon. Jika tidak ada faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon, dapat menggunakan strategi *pooling up*.
- ✓ Interpretasi hasil dengan menghitung persen kontribusi menggunakan persamaan (1) dan menghitung dugaan rasio S/N yang optimal.

- c. Melakukan percobaan konfirmasi dengan menghitung rata-rata respon dan rasio S/N yang optimal.
 - d. Membandingkan hasil antara percobaan Taguchi (langkah a-b) dengan percobaan konfirmasi.
2. Menganalisis data menggunakan metode VIKOR sebagai metode optimalisasi Taguchi. Adapun langkah-langkah dalam menganalisis data sebagai berikut:

- a. Menghitung *quality loss*. Adapun formula untuk *quality loss*:
 - *Smaller the better*

$$Z_i = p_1 \times \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c y_i^2 \quad (4)$$

dengan:

Z_i : *quality loss* percobaan ke- i

p_1 : koefisien *quality loss*

- *Larger the better*

$$Z_i = p_2 \times \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \frac{1}{y_i^2} \quad (5)$$

dengan

p_2 : koefisien *quality loss*

untuk $i = 1, 2, \dots, 18; u = 1, 2, \dots, c$

- b. Hitung normalisasi *quality loss* (NQL) dari setiap respon. NQL dapat diperoleh sebagai berikut:

$$f_{il} = \frac{Z_{il}}{\sqrt{\sum_{i=1}^g Z_{il}^2}}, i = 1, 2, \dots, 18; l = 1, 2, 3 \quad (6)$$

dengan:

f_{il} : NQL pada respon ke- l terhadap percobaan ke- i

- c. Menentukan solusi ideal dan solusi ideal negatif. Solusi ideal dan solusi ideal negatif yang menunjukkan NQL maksimum dan

minimum dari semua percobaan adalah sebagai berikut:

$$F^+ = \{(\min f_{ij} | i = 1,2, \dots, 18)\} = \{f_1^+, f_2^+, f_3^+\} \quad (7)$$

$$F^- = \{(\max f_{ij} | i = 1,2, \dots, 18)\} = \{f_1^-, f_2^-, f_3^-\} \quad (8)$$

d. Menghitung *utility measure* dan *regret measure* untuk setiap percobaan dapat diperoleh menggunakan persamaan:

$$M_i = \sum_{l=1}^h \frac{w_l(f_l^+ - f_{il})}{f_l^+ - f_l^-} \quad (9)$$

$$N_i = \text{Max}_l \left[\frac{w_l(f_l^+ - f_{il})}{f_l^+ - f_l^-} \right] \quad (10)$$

dengan:

M_i : *utility measure*

N_i : *regret measure*

e. Menghitung indeks VIKOR pada percobaan ke- i . Substitusikan M_i dan N_i yang menghasilkan indeks VIKOR dari percobaan ke- i dengan persamaan:

$$Q_i = \nu \left[\frac{M_i - M^-}{M^+ - M^-} \right] + (1 - \nu) \left[\frac{N_i - N^-}{N^+ - N^-} \right] \quad (11)$$

dengan:

Q_i : nilai VIKOR percobaan ke- i

M^- : $\text{Min}_i M_i$

M^+ : $\text{Max}_i M_i$

N^- : $\text{Min}_i N_i$

N^+ : $\text{Max}_i N_i$

ν : bobot dari kelompok utilitas maksimum

Indeks VIKOR dengan nilai yang paling minimum menghasilkan kombinasi optimal level dari faktor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Metode Taguchi

Dalam menganalisis menggunakan metode Taguchi, dibagi menjadi dua tahapan, yang pertama untuk melihat pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata respon serta yang kedua untuk melihat pengaruh level dari faktor terhadap keragaman respon. Namun karena metode Taguchi hanya dapat menyelesaikan masalah

optimasi respon tunggal, maka respon dianalisis masing-masing (tidak secara bersamaan).

Untuk matriks respon yang digunakan dan transformasi respon ke dalam bentuk rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai respon dan rasio S/N

Percobaan ke-	Respon			Rasio S/N		
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	3,80	72,89	3,35	11,60	-37,25	10,50
2	5,10	55,89	5,19	14,15	-34,95	14,30
3	9,10	91,07	9,38	19,18	-39,19	19,44
4	5,70	63,39	5,05	15,12	-36,04	14,07
5	7,10	80,47	7,62	17,03	-38,11	17,64
6	8,70	81,23	8,50	18,79	-38,19	18,59
7	8,00	77,3	8,14	18,06	-37,76	18,21
8	8,80	75,08	8,76	18,89	-37,51	18,85
9	9,00	86,68	8,57	19,08	-38,76	18,66
10	6,00	74,58	6,57	15,56	-37,45	16,35
11	4,49	65,89	4,44	13,04	-36,38	12,95
12	4,50	68,51	4,40	13,06	-36,72	12,87
13	5,03	72,97	5,15	14,03	-37,26	14,24
14	6,52	60,78	6,22	16,28	-35,68	15,88
15	7,10	91,06	7,22	17,03	-39,19	17,17
16	9,88	90,88	10,00	19,90	-39,17	20,00
17	7,47	73,94	7,33	17,47	-37,38	17,30
18	7,17	70,26	6,60	17,11	-36,93	16,39

1. Hasil analisis Taguchi pada respon pertama

Langkah awal dalam tahapan pertama (melihat pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu menghitung rata-rata respon masing-masing faktor untuk setiap level. Tabel 3 menunjukkan rata-rata respon pertama masing-masing faktor untuk setiap level.

Tabel 3. Rata-rata respon pertama masing-masing faktor untuk setiap level

	A	B	C	D	E
Level 1	5,498	6,402	6,260	6,447	6,383
Level 2	6,692	6,580	6,150	6,847	6,582
Level 3	8,387	7,595	8,167	7,283	7,612
Selisih	2,888	1,193	2,017	0,837	1,228
Rangking	1	4	2	5	3

Karena matriks orthogonal yang digunakan adalah L_{18} , maka diambil kira-kira setengah faktor atau lebih sebagai pengaruh penting. Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa kombinasi level faktor optimal dicapai pada nilai rata-rata respon dengan nilai yang paling besar (dikarenakan respon berkarakteristik *larger the better*) dari

setiap faktor, yaitu faktor *A* level 3, faktor *C* level 3 dan faktor *E* level 3. Kombinasi ini berada pada percobaan ke-16. Untuk menguatkan asumsi tersebut, dilakukan analisis ragam dan menghitung persen kontribusi masing-masing faktor. **Tabel 4** menunjukkan tabel sidik ragam rata-rata respon pertama dan persen kontribusi masing faktor.

Tabel 4. Sidik ragam rata-rata respon pertama dan persen kontribusi masing faktor

Sumber	db	JK	KT	F_{hitung}	%Kontribusi
A	2	25,28	12,64	22,57	42,42%
B	2	4,97	2,49	4,47	6,76%
C	2	15,43	7,71	13,77	25,13%
D	2	2,10	1,05	1,88	1,72%
E	2	5,22	2,61	4,66	7,20%
Galat	7	3,95	0,56		
Total	17	56,95			83,23%

Berdasarkan **Tabel 4**, total kontribusi semua faktor adalah 83,23%, yang berarti persen kontribusi galat sebesar 16,77%, maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Langkah akhir dalam tahapan pertama (melihat pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu menghitung dugaan rata-rata respon pertama yang optimal. Hasil dugaan dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Setelah tahapan pertama selesai, dilanjutkan menyelesaikan tahapan kedua. Langkah awal dalam tahapan kedua (melihat pengaruh level dari faktor terhadap keragaman respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu mentransformasikan respon ke dalam bentuk rasio *S/N*. Hasil transformasi respon ke dalam bentuk rasio *S/N* dapat dilihat pada **Tabel 2**. Langkah selanjutnya menghitung rata-rata rasio *S/N* masing-masing faktor untuk setiap level. **Tabel 5** menunjukkan rata-rata rasio *S/N* pada respon pertama masing-masing faktor untuk setiap level.

Tabel 5. Rata-rata rasio *S/N* pada respon pertama masing faktor untuk setiap level

	A	B	C	D	E
Level 1	14,43	15,71	15,56	15,81	15,64
Level 2	16,38	16,14	15,57	16,36	16,22
Level 3	18,42	17,38	18,10	17,06	17,37
Selisih	3,98	1,67	2,54	1,24	1,73
Rangking	1	4	2	5	3

Karena matriks orthogonal yang digunakan adalah L_{18} , maka diambil kira-kira setengah faktor atau lebih sebagai pengaruh penting. Berdasarkan **Tabel 5**, dapat dilihat bahwa kombinasi level faktor optimal dicapai pada nilai rata-rata respon dengan nilai yang paling besar (dikarenakan respon berkarakteristik *larger the better*) dari setiap faktor, yaitu faktor *A* level 3, faktor *C* level 3 dan faktor *E* level 3. Kombinasi ini berada pada percobaan ke-16. Untuk menguatkan asumsi tersebut, dilakukan analisis ragam dan menghitung persen kontribusi masing-masing faktor. **Tabel 6** menunjukkan tabel sidik ragam rasio *S/N* untuk respon pertama dan persen kontribusi masing-masing faktor.

Tabel 6. Sidik ragam rasio *S/N* respon pertama dan persen kontribusi masing faktor

Sumber	db	JK	KT	F_{hitung}	%Kontribusi
A	2	47,64	23,82	25,89	44,58%
B	2	8,96	4,48	4,87	6,93%
C	2	25,72	12,86	13,98	23,24%
D	2	4,67	2,34	2,54	2,75%
E	2	9,34	4,67	5,08	7,30%
Galat	7	6,41	0,92		
Total	17	102,74			84,80%

Berdasarkan **Tabel 6**, total kontribusi semua faktor adalah 84,80%, yang berarti persen kontribusi galat sebesar 15,20%, maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Langkah akhir dalam tahapan kedua (melihat pengaruh level dari faktor terhadap keragaman respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu menghitung dugaan rasio *S/N* respon pertama yang optimal. Hasil dugaan dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Rata-rata dan rasio *S/N* percobaan Taguchi dan percobaan konfirmasi respon 1

	Percobaan Taguchi	Percobaan Konfirmasi
Rata-rata	10,45	11,28
Rasio <i>S/N</i>	21,07	22,35

Setelah tahapan percobaan Taguchi selesai, dilanjutkan melakukan percobaan konfirmasi. Percobaan konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari percobaan sebelumnya. Percobaan ini bertujuan untuk membuktikan hal yang didapat sebelumnya.

Pada percobaan konfirmasi, faktor dan level ditetapkan seperti faktor dan level pada kondisi optimal, yaitu faktor *A* level 3, faktor *C* level 3, dan faktor *E* level 3. Adapun hasil rata-rata dan rasio *S/N* untuk percobaan konfirmasi respon pertama dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan interpretasi hasil perhitungan respon pertama yang tertera pada Tabel 7, yaitu dugaan menggunakan percobaan Taguchi ke percobaan konfirmasi mengalami peningkatan pada rata-rata dan keragamannya (rasio *S/N*). Dengan demikian terbukti bahwa benar adanya kombinasi optimal terdapat pada percobaan ke-16, yaitu faktor *A* level 3, faktor *C* level 3, dan faktor *E* level 3.

2. Hasil analisis Taguchi pada respon kedua

Langkah awal dalam tahapan pertama (melihat pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu menghitung rata-rata respon masing-masing faktor untuk setiap level. Tabel 8 menunjukkan rata-rata respon kedua masing-masing faktor untuk setiap level.

Tabel 8. Rata-rata respon kedua masing-masing faktor untuk setiap level

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Level 1	71,47	75,33	75,64	71,39	74,10
Level 2	74,98	68,67	70,90	74,14	68,60
Level 3	79,02	81,47	78,94	79,95	82,78
Selisih	7,55	12,79	8,04	8,56	14,18
Rangking	5	2	4	3	1

Karena matriks orthogonal yang digunakan adalah L_{18} , maka diambil kira-kira setengah faktor atau lebih sebagai pengaruh penting. Berdasarkan Tabel 8, dapat dilihat bahwa kombinasi level faktor optimal dicapai pada nilai rata-rata respon dengan nilai yang paling kecil (dikarenakan respon berkarakteristik *smaller the better*) dari setiap faktor, yaitu faktor *E* level 2, faktor *B* level 2, dan faktor *D* level 1. Kombinasi ini berada pada percobaan ke-14. Untuk menguatkan asumsi tersebut, dilakukan analisis ragam dan menghitung persen kontribusi setiap faktor. Tabel 9 menunjukkan tabel sidik ragam untuk rata-rata respon kedua dan persen kontribusi setiap faktor.

Berdasarkan Tabel 9, total kontribusi semua faktor adalah 81.92%, yang berarti persen kontribusi galat sebesar 18.08%, maka tidak ada

faktor yang berpengaruh terabaikan. Langkah akhir dalam tahapan pertama (melihat pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu menghitung dugaan rata-rata respon kedua yang optimal. Hasil dugaan dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 9. Sidik ragam untuk rata-rata respon kedua dan persen kontribusi faktor

Sumber	<i>db</i>	<i>JK</i>	<i>KT</i>	F_{hitung}	%Kontribusi
<i>A</i>	2	171,36	85,68	4,38	7,20%
<i>B</i>	2	491,29	245,65	12,57	24,60%
<i>C</i>	2	195,86	97,93	5,01	8,52%
<i>D</i>	2	229,27	114,64	5,86	10,35%
<i>E</i>	2	613,40	306,70	15,69	31,25%
Galat	7	136,82	19,55		
Total	17	1837,98			81,92%

Setelah tahapan pertama selesai, dilanjutkan menyelesaikan tahapan kedua. Langkah awal dalam tahapan kedua (melihat pengaruh level dari faktor terhadap keragaman respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu mentransformasikan respon ke dalam bentuk rasio *S/N*. Hasil transformasi respon ke dalam bentuk rasio *S/N* dapat dilihat pada Tabel 2. Langkah selanjutnya menghitung rata-rata rasio *S/N* masing-masing faktor untuk setiap level. Tabel 10 menunjukkan rata-rata rasio *S/N* pada respon kedua masing-masing faktor untuk setiap level.

Tabel 10. Rata-rata rasio *S/N* pada respon kedua masing-masing faktor untuk setiap level

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Level 1	-36,99	-37,49	-37,50	-38,03	-37,39
Level 2	-37,41	-38,16	-36,96	-37,26	-38,30
Level 3	-37,92	-36,67	-37,86	-37,03	-36,63
Selisih	0,93	1,50	0,91	0,99	1,66
Rangking	4	2	5	3	1

Karena matriks orthogonal yang digunakan adalah L_{18} , maka diambil kira-kira setengah faktor atau lebih sebagai pengaruh penting. Berdasarkan Tabel 10, dapat dilihat bahwa kombinasi level faktor optimal dicapai pada nilai rata-rata respon dengan nilai yang paling kecil (dikarenakan respon berkarakteristik *smaller the better*) dari setiap faktor, yaitu faktor *E* level 2, faktor *B* level 2, dan faktor *D* level 1. Kombinasi ini berada pada percobaan ke-14. Untuk menguatkan asumsi tersebut, dilakukan analisis ragam dan menghitung persen kontribusi masing-masing

faktor. **Tabel 11** menunjukkan tabel sidik ragam rasio S/N untuk respon kedua dan persen kontribusi masing-masing faktor.

Berdasarkan **Tabel 11**, total kontribusi semua faktor adalah 82,52%, yang berarti persen kontribusi galat sebesar 17,48%, maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Langkah akhir dalam tahapan kedua (melihat pengaruh level dari faktor terhadap keragaman respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu menghitung dugaan rasio S/N respon kedua yang optimal yang dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Tabel 11. Sidik Ragam untuk Rasio S/N Respon Kedua dan Persen Kontribusi Faktor

Sumber	db	JK	KT	F_{hitung}	%Kontribusi
A	2	2,60	1,30	5,00	8,24%
B	2	6,74	3,37	12,96	24,64%
C	2	2,51	1,26	4,85	7,88%
D	2	3,24	1,62	6,23	10,78%
E	2	8,34	4,17	16,04	30,98%
Galat	7	1,80	0,26		
Total	17	25,24			82,52%

Setelah tahapan dalam percobaan Taguchi selesai, dilanjutkan melakukan percobaan konfirmasi. Percobaan konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari percobaan sebelumnya. Percobaan ini bertujuan untuk membuktikan hal yang didapat sebelumnya. Pada percobaan konfirmasi, faktor dan level ditetapkan seperti faktor dan level pada kondisi optimal, yaitu faktor E level 2, faktor B level 2, dan faktor D level 1. Adapun hasil rata-rata dan rasio S/N untuk percobaan konfirmasi respon kedua dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Rata-rata dan rasio S/N untuk percobaan taguchi dan percobaan konfirmasi respon kedua

	Percobaan Taguchi	Percobaan Konfirmasi
Rata-rata	58,35	59,39
Rasio S/N	185,51	186,75

Berdasarkan interpretasi hasil perhitungan respon kedua yang tertera pada **Tabel 13**, yaitu dugaan menggunakan percobaan Taguchi ke percobaan konfirmasi mengalami peningkatan pada rata-rata dan keragamannya (rasio S/N). Dengan demikian terbukti bahwa benar adanya kombinasi optimal terdapat pada percobaan ke-14, yaitu faktor E level 2, faktor B level 2, dan faktor D level 1.

3. Hasil analisis Taguchi pada respon ketiga

Langkah awal dalam tahapan pertama (melihat pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu menghitung rata-rata respon masing-masing faktor untuk setiap level. **Tabel 13** menunjukkan rata-rata respon ketiga masing-masing faktor untuk setiap level.

Tabel 13. Rata-rata respon ketiga masing-masing faktor untuk setiap level

	A	B	C	D	E
Level 1	5,555	6,377	5,993	6,208	6,248
Level 2	6,627	6,593	6,183	6,770	6,367
Level 3	8,233	7,445	8,238	7,437	7,800
Selisih	2,678	1,068	2,245	1,228	1,552
Rangking	1	5	2	4	3

Karena matriks orthogonal yang digunakan adalah L_{18} , maka diambil kira-kira setengah faktor atau lebih sebagai pengaruh penting. Berdasarkan **Tabel 13**, dapat dilihat bahwa kombinasi level faktor optimal dicapai pada nilai rata-rata respon dengan nilai yang paling besar (dikarenakan respon berkarakteristik *larger the better*) dari setiap faktor, yaitu faktor A level 3, faktor C level 3 dan faktor E level 3. Kombinasi ini berada pada percobaan ke-16. Untuk menguatkan asumsi tersebut, dilakukan analisis ragam dan menghitung persen kontribusi masing-masing faktor. **Tabel 14** menunjukkan tabel sidik ragam untuk rata-rata respon ketiga dan persen kontribusi masing-masing faktor.

Tabel 14. Sidik ragam untuk rata-rata respon ketiga dan persen kontribusi faktor

Sumber	db	JK	KT	F_{hitung}	%Kontribusi
A	2	21,81	10,91	19,14	33,48%
B	2	3,83	1,91	3,35	4,36%
C	2	18,60	9,30	16,32	28,28%
D	2	4,54	2,27	3,98	5,51%
E	2	8,95	4,48	7,86	12,65%
Galat	7	4,00	0,57		
Total	17	61,73			84,28%

Berdasarkan **Tabel 14**, total kontribusi semua faktor adalah 84,28%, yang berarti persen kontribusi galat sebesar 15,72%, maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Langkah akhir dalam tahapan pertama (melihat pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata respon)

menggunakan metode Taguchi, yaitu menghitung dugaan rata-rata respon ketiga yang optimal. Dapat dilihat pada Tabel 17.

Setelah tahapan pertama selesai, dilanjutkan menyelesaikan tahapan kedua. Langkah awal dalam tahapan kedua (melihat pengaruh level dari faktor terhadap keragaman respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu mentransformasikan respon ke dalam bentuk rasio S/N . Hasil transformasi respon ke dalam bentuk rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 3. Langkah selanjutnya menghitung rata-rata rasio S/N masing-masing faktor untuk setiap level. Tabel 15 menunjukkan rata-rata rasio S/N pada respon ketiga masing-masing faktor untuk setiap level.

Tabel 15. Rata-rata rasio S/N pada respon ketiga masing-masing faktor untuk setiap level

	A	B	C	D	E
Level 1	14,40	15,56	15,11	15,42	15,39
Level 2	16,26	16,15	15,61	16,21	15,94
Level 3	18,24	17,19	18,18	17,27	17,57
Selisih	3,83	1,63	3,08	1,85	2,18
Rangking	1	5	2	4	3

Karena matriks orthogonal yang digunakan adalah L_{18} , maka diambil kira-kira setengah faktor atau lebih sebagai pengaruh penting. Berdasarkan Tabel 15, dapat dilihat bahwa kombinasi level faktor optimal dicapai pada nilai rata-rata respon dengan nilai yang paling besar (dikarenakan respon berkarakteristik *larger the better*) dari setiap faktor, yaitu faktor A level 3, faktor C level 3 dan faktor E level 3. Kombinasi ini berada pada percobaan ke-16. Untuk menguatkan asumsi tersebut, dilakukan analisis ragam dan menghitung persen kontribusi masing-masing faktor. Tabel 16 menunjukkan tabel sidik ragam rasio S/N untuk respon ketiga dan persen kontribusi masing-masing faktor.

Berdasarkan Tabel 16, total kontribusi semua faktor adalah 84,65%, yang berarti persen kontribusi galat sebesar 15,35%, maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Langkah akhir dalam tahapan kedua (melihat pengaruh level dari faktor terhadap keragaman respon) menggunakan metode Taguchi, yaitu menghitung dugaan rasio S/N respon ketiga yang optimal. Hasil dugaan dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 16. Sidik ragam untuk rasio S/N respon ketiga dan persen kontribusi faktor

Sumber	db	JK	KT	F_{hitung}	%Kontribusi
A	2	44,09	22,05	20,61	35,50%
B	2	8,13	4,07	3,80	5,10%
C	2	32,71	16,36	15,29	25,87%
D	2	10,37	5,19	4,85	6,97%
E	2	15,39	7,70	7,20	11,21%
Galat	7	7,48	1,07		
Total	17	118,17			84,65%

Setelah tahapan dalam percobaan Taguchi selesai, dilanjutkan melakukan percobaan konfirmasi. Percobaan konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari percobaan sebelumnya. Percobaan ini bertujuan untuk membuktikan hal yang didapat sebelumnya. Pada percobaan konfirmasi, faktor dan level ditetapkan seperti faktor dan level pada kondisi optimal, yaitu faktor A level 3, faktor C level 3, dan faktor E level 3. Adapun hasil rata-rata dan rasio S/N untuk percobaan konfirmasi respon ketiga dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Rata-rata dan rasio S/N untuk percobaan taguchi dan percobaan konfirmasi respon ketiga

	Percobaan Taguchi	Percobaan Konfirmasi
Rata-rata	10,65	11,67
Rasio S/N	21,20	22,81

Berdasarkan interpretasi hasil perhitungan respon kedua yang tertera pada Tabel 17, yaitu dugaan menggunakan percobaan Taguchi ke percobaan konfirmasi mengalami peningkatan pada rata-rata dan keragamannya (rasio S/N). Dengan demikian terbukti bahwa benar adanya kombinasi optimal terdapat pada percobaan ke-16, yaitu faktor A level 3, faktor C level 3, dan faktor E level 3.

Tabel 18. Hasil keseluruhan analisis metode Taguchi Analisis Taguchi Percobaan ke- Kombinasi optimal

Respon pertama	16	A_3, C_3, E_3
Respon kedua	14	B_2, D_1, E_2
Respon ketiga	16	A_3, C_3, E_3

Secara keseluruhan hasil analisis Taguchi pada masing-masing respon (respon pertama, respon kedua, dan respon ketiga) dapat diambil kesimpulan seperti pada Tabel 18. Berdasarkan

Tabel 18, dapat dilihat bahwa ketika berhadapan dengan persoalan multirespon metode Taguchi menjadi tidak konsisten dalam menghasilkan kombinasi optimal level dari faktor. Dengan demikian dibutuhkan metode tambahan sebagai metode optimasi Taguchi dalam menyelesaikan permasalahan multirespon.

3.2. Hasil Metode VIKOR

Langkah awal dalam menganalisis data menggunakan metode VIKOR yaitu menghitung *quality loss* untuk setiap respon. Tabel 19 menunjukkan *quality loss* untuk setiap respon.

Tabel 19. *Quality loss* untuk setiap respon

Percobaan	Y_1	Y_2	Y_3
1	0,038	2.951,640	0,166
2	0,021	1.735,385	0,107
3	0,007	4.607,636	0,059
4	0,017	2.232,385	0,110
5	0,011	3.597,456	0,073
6	0,007	3.665,729	0,065
7	0,009	3.319,606	0,068
8	0,007	3.131,670	0,063
9	0,007	4.174,124	0,065
10	0,015	3.090,098	0,085
11	0,028	2.411,940	0,125
12	0,027	2.607,567	0,126
13	0,022	2.958,123	0,108
14	0,013	2.052,338	0,089
15	0,011	4.606,624	0,077
16	0,006	4.588,430	0,056
17	0,010	3.037,291	0,076
18	0,011	2.742,482	0,084

Karena *quality loss* untuk setiap respon telah diperoleh, maka selanjutnya menghitung normalisasi *quality loss* (NQL) dari setiap respon. Tabel 20 menunjukkan NQL setiap respon.

Selanjutnya, menentukan nilai solusi ideal dan solusi ideal negatif. Karena nilai yang lebih kecil yang diinginkan, maka solusi ideal mewakili minimum nilai NQL masing-masing respon dan solusi ideal negatif mewakili maksimum NQL masing-masing respon.

Tabel 20. NQL untuk setiap respon

Percobaan	Y_1	Y_2	Y_3
1	0,524	0,210	0,418
2	0,291	0,124	0,270
3	0,091	0,329	0,149
4	0,233	0,159	0,277
5	0,150	0,256	0,184
6	0,100	0,261	0,165
7	0,118	0,237	0,172
8	0,098	0,223	0,160
9	0,093	0,298	0,163
10	0,210	0,220	0,213
11	0,375	0,172	0,316
12	0,373	0,186	0,318
13	0,299	0,211	0,272
14	0,178	0,146	0,225
15	0,150	0,328	0,194
16	0,077	0,327	0,140
17	0,136	0,217	0,191
18	0,147	0,196	0,212

Nilai solusi ideal dan solusi ideal negatif dapat dilihat pada Tabel 21.

Tabel 21. Nilai solusi ideal dan solusi ideal negatif

Respon	Solusi ideal	Solusi ideal negatif
Y_1	0,077	0,524
Y_2	0,124	0,329
Y_3	0,140	0,418

Setelah menentukan nilai solusi ideal dan solusi ideal negatif, maka menghitung *utility measure* dan *regret measure* untuk setiap percobaan. Adapun bobot yang digunakan dalam menghitung *utility measure* dan *regret measure* berasal dari akar ciri yang terkait dengan setiap respon. Bobot dapat dilihat pada Tabel 22 sedangkan *utility measure* dan *regret measure* dapat dilihat pada Tabel 23.

Tabel 22. Bobot

Respon	Bobot
Y_1	1,830
Y_2	10,398
Y_3	1,905

Tabel 23. *Utility measure dan regret measure*

Percobaan	Utility Measure	Regret Measure
1	8.120,933	43.847,341
2	1.752,292	0,891
3	10.496,266	103.734,201
4	3.363,463	17.836,435
5	7.319,897	67.202,405
6	7.231,155	69.671,418
7	6.104,139	57.154,317
8	5.257,025	50.357,889
9	9.033,645	88.056,806
10	5.932,402	48.854,486
11	4.856,983	24.329,820
12	5.577,283	31.404,394
13	6.221,898	44.081,778
14	2.129,992	11.325,297
15	11.039,236	103.697,609
16	10.306,623	103.039,648
17	5.284,647	46.944,788
18	4.410,825	36.283,423

Langkah terakhir adalah menghitung nilai indeks VIKOR. [Tabel 24](#) menunjukkan nilai indeks VIKOR.

Tabel 24. Nilai indeks VIKOR

Percobaan	Indeks VIKOR
1	0,527
2	0,000
3	0,971
4	0,134
5	0,607
6	0,615
7	0,489
8	0,407
9	0,809
10	0,436
11	0,248
12	0,325
13	0,426
14	0,033
15	1,000
16	0,957
17	0,391
18	0,287

Percobaan dengan nilai indeks VIKOR terkecil merupakan solusi yang terbaik. Berdasarkan [Tabel 24](#) diperoleh hasil bahwa percobaan kedua merupakan solusi yang terbaik. Kombinasi untuk percobaan kedua yaitu faktor *A* level 1, faktor *B* level 2, faktor *C* level 2, faktor *D* level 2, dan faktor *C* level 2.

Hal ini menunjukkan bahwa metode Taguchi tidak konsisten dalam menghasilkan kombinasi optimal level dari faktor ketika berhadapan dengan persoalan multirespon. Oleh karena itu, metode VIKOR sebagai metode optimasi Taguchi diperlukan dalam menghasilkan kombinasi optimal pada persoalan multirespon.

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis Taguchi, ketiga respon yang dianalisis terpisah menghasilkan kombinasi optimal antar level yang berbeda sehingga menunjukkan bahwa metode Taguchi tidak konsisten dalam menghasilkan kombinasi optimal level dari faktor ketika berhadapan dengan persoalan multirespon, sehingga dibutuhkan metode tambahan sebagai metode optimasi Taguchi dalam menyelesaikan masalah multirespon, salah satunya menggunakan metode VIKOR.

Optimisasi menggunakan metode VIKOR menghasilkan kombinasi optimal level dari faktor yang berbeda dengan metode Taguchi. Hal ini membuktikan bahwa metode Taguchi tidak tepat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan multirespon.

Saran untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan satu metode optimasi untuk menguatkan hasil analisis metode VIKOR sebagai metode optimasi Taguchi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya yang telah memberikan pendanaan untuk penelitian ini dengan nomor kontrak: 71.002/KONTRAK PENELITIAN/FTI-UJ/XII/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Adalarasan, R. Santhanakumar, M. dan Sundaram, A.S., 2014. Optimization of Weld Characteristic of Friction Welded AA 6061-AA Joints Using Grey-Principal Component Analysis (G-PCA). *Journal of Mechanical Science and Technology*, (28), hal. 301-307.
- Ali, M. Yadav, A., Anis, M. dan Shah, R.K., 2017. Evaluation of Hazardous Waste Management by Using VIKOR: A Case Study of USA States. *Modern Applied Science*, 11(1), hal. 180-187.
- Almanaf, 2015. Analisa Cacat Dan Kegagalan Produk Pada Vulkanisir Ban Sistem Dingin. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Riau, Riau.
- Ho, L. H., Feng, S.Y. dan Yen, T.M., 2014. A New Methodology for Customer Satisfaction Analysis: Taguchi's Signal-to-Noise Ratio Approach. *Journal of Service Science and Management*, (7), hal. 235-244.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J. dan John Neter, 2014. *Applied Linear Regression Models*. 4th edition, New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Rakhmanto, M. R., 2015. Penentuan Pemenang Tender Untuk Hosting Internet 10 Mbps Menggunakan Metode TOPSIS (Studi Kasus pada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Rumpin). *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Brawijaya.
- Ratmani, M., 2011. *Buku Pengetahuan Ban Penumpang*, Bekasi: PT. Multistrada Arah Sarana, Tbk.
- Sathees, M. dan Dhas, J. E. R., 2013. Multi Ojective Optimization of Flux Cored Arc Weld Parameters Using Fuzzy Based Desirability Fuction. *Mechanical Engineering Shiraz University*, 37(M2), hal.175-187.
- Selvam, M. D. dan Senthil, P., 2015. Investigation on the Effect of Turning Operation on Surface Roughness of Hardened C45 Carbon Steel. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 14(2), hal.131-137.
- Sunanto, A., 2013. Analisis Cacat Produk Ban Vulkanisir Jenis Truk dan Bus Pada CV. Sigma Jaya Surakarta. *NOSEL: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Mesin*, 1(4), hal. 1-13.
- Yurianto, Y., Soekono, S., Soeprapto, W., 2018. Optimasi Parameter Quenching dan Tempering Pada HRP Steel Lokal Sebagai Baja Armor Nasional. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(2), hal.143-148.