

OPTIMALISASI PENGGUNAAN COAGULANT DAN FLOCCULANT PADA PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LABORATORIUM

Andi Riyanto¹⁾, Hari Purnomo²⁾, Ali Parkhan³⁾, Hartomo⁴⁾, Rizki Prakasa Hasibuan⁵⁾

^{1,2,3,4)} Prodi Magister Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

⁵⁾ Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Ibnu Sina

Email : 17916202@alumni.uui.ac.id

Abstrak, Indikator umum pencemaran limbah cair laboratorium dalam suatu badan air atau drainase buangan limbah adalah Chemical Oxygen Demand (COD) dan Total Suspended Solid (TSS). Semakin tinggi limbah tersebut maka air buangan semakin tercemar secara organik maupun anorganik. Secara fisik pencemaran tersebut dapat diketahui dari banyaknya endapan berbentuk koloid (keruh) dan bau yang tidak sedap. Hasil pengamatan limbah laboratorium di suatu IPAL (Instalasi Pengelolaan Air Limbah) diperoleh bahwa rata-rata kadar COD 232,5 ppm dan TSS 577,25 ppm jauh di atas standar baku mutu lingkungan yaitu kadar COD maksimal 100 mg/L dan kadar TSS maksimal 200 mg/L. Dalam upaya mengurangi tingkat pencemaran air, dapat diidentifikasi bahwa ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kadar COD dan TSS limbah laboratorium, yaitu pH lingkungan (A), volume coagulant (B), konsentrasi cationic flocculant (C), konsentrasi anionic flocculant (D), waktu alir coagulant (E), waktu alir flocculant (F) dan kecepatan mixing (G). Berdasarkan penelitian menggunakan metode Taguchi diperoleh bahwa kondisi optimal mampu menurunkan kadar COD dan TSS masing-masing menjadi $\leq 39,7875$ ppm dan ≤ 12 ppm. Kondisi optimal ini diperoleh pada kombinasi level faktor A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3, yaitu sistem bekerja pada kondisi pH 7, volume coagulant 15 ml, konsentrasi cationic flocculant 2 ml, konsentrasi anionic flocculant 4 ml, waktu alir coagulant 2 ml/mnt, waktu alir flocculant 5 ml/mnt dan kecepatan mixing 100 rpm.

Kata Kunci : COD, TSS, Taguchi, Kombinasi Level Faktor

PENDAHULUAN

Laboratorium pengujian merupakan sarana untuk melakukan eksperimen, tempat terjadinya proses pencampuran bahan kimia yang cukup kompleks untuk menghasilkan parameter ukur yang dikehendaki, baik jenis maupun komposisinya. (Joni, et al., 2014). Kegiatan pengujian di laboratorium yang menghasilkan limbah yaitu sisa pencucian peralatan laboratorium yang masuk ke dalam Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) melalui saluran pembuangan *wastafel*. Limbah laboratorium secara umum masuk dalam limbah berbahaya dan beracun, meliputi bahan kimia dan kontaminasi berupa sisa kegiatan laboratorium. Permasalahan yang terjadi dalam pengelolaan air limbah di laboratorium adalah kekeruhan pada air buangan yang menyebabkan tingginya parameter fisika (Harwiyanti, 2015). Hal ini berdampak pada kelestarian lingkungan sekitar yang dimanfaatkan oleh penduduk sebagai air cucian dan air bersih (Choi, et al., 2018) serta kehidupan makhluk hidup di sekitar lokasi kegiatan (Kudlak, et al., 2016).

Air buangan setelah proses IPAL bila masuk ke dalam sungai atau badan air terbuka harus memenuhi baku mutu lingkungan. Hal ini sesuai dengan regulasi dan dapat dimanfaatkan kembali sebagai air baku yang terbagi menjadi 4 golongan yaitu air minum, air bersih, pertanian dan peternakan (Liu, et al. 2013). Indikator awal pencemaran dapat dihitung berdasarkan konsentrasi *Chemicals Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solid* (TSS). (Audiana, et al., 2014). Semakin tinggi konsentrasi tersebut maka air semakin tercemar. Hasil pengamatan limbah laboratorium di suatu IPAL diperoleh bahwa rata-rata kadar COD 232,5 ppm dan TSS 577,25 ppm jauh di atas standar baku mutu lingkungan yaitu kadar COD maksimal 100 mg/L dan kadar TSS maksimal 200 mg/L.

Proses penjernihan air untuk menurunkan kadar COD dan TSS dapat dilakukan dengan pengendapan (coagulant dan flocculant). PAC (Poly Aluminium Clorida) merupakan garam polimer yang dapat berfungsi sebagai coagulant dan flocculant yang cukup efektif untuk menurunkan endapan dalam proses penjernihan air. Ada beberapa faktor

yang umumnya akan dapat mempengaruhi kadar COD dan TSS limbah laboratorium, yaitu pH lingkungan, volume coagulant, konsentrasi cationic flocculant, konsentrasi anionic flocculant, waktu alir coagulant, waktu alir flocculant dan kecepatan mixing.

Menurut Belavendram (1995) dalam Rizky (2018) Eksperimen dilakukan menggunakan metode Taguchi. Pemilihan metode ini dikarenakan metode Taguchi memiliki kemampuan dan penghematan jumlah eksperimen. Disamping itu metode Taguchi merupakan metode pengendalian kualitas yang telah banyak diaplikasikan di industri baik dalam bidang machining (Kumar & Kulkarni, 2017; Gaikwad & Jatti, 2018), bidang kimia dan serat karbon (Nia, et al., 2019; Purnomo, et al., 2018; Morali, et al., 2018; Zolgharnein & Rastgordani, 2018), bidang tekstil (Purnomo, et al., 2018), bidang konstruksi dan welding (Teimortashlu, et al., 2018; Naik, et al., 2018), dan bidang electrical (Gohil and Puri, 2018; Ugrasen, et al., 2018).

METODE

Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada suatu laboratorium yang menghasilkan limbah yaitu sisa pencucian peralatan laboratorium yang masuk ke dalam IPAL melalui saluran pembuangan *wastafel*. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui faktor – faktor

yang secara signifikan berpengaruh terhadap tingkat pencemaran limbah yang diukur berdasarkan kadar COD dan kadar TSS serta menentukan kombinasi level faktor yang akan menghasilkan limbah dengan kadar COD dan TSS yang kecil dan memenuhi standar baku mutu lingkungan.

Disain Eksperimen

Menurut Sudjana (1991) dalam Ladou et al (2015) disain eksperimen adalah suatu rancangan percobaan sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan. Disain eksperimen ditujukan untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian persoalan yang akan dibahas dengan biaya yang minimum. Terdapat dua macam disain eksperimen yaitu disain eksperimen konvensional dan disain eksperimen Taguchi. Disain eksperimen Taguchi bertujuan untuk mendapatkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon dan interaksinya dengan jumlah eksperimen yang minimal dan memilih level faktor yang terbaik dengan kriteria tertentu sebagai parameter yang optimal. Strategi Taguchi untuk minimasi jumlah eksperimen ditunjukkan oleh contoh eksperimen dengan 7 faktor, 2 level berikut (Ross, 1988).

Tabel 1. Full-Factorial Experiment

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																
E2	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																

Tabel 2. $1/16$ FFE (Fractional-Factorial Experiment)

			A1								A2								
			B1				B2				B1				B2				
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2		
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	
E1	F1	G1																	
		G2																	
	F2	G1																	
		G2																	
E2	F1	G1																	
		G2																	
	F2	G1																	
		G2																	

Berdasarkan Tabel 1, pada *full-factorial experiment* diperlukan $2^7 = 128$ kombinasi level faktor (warna gelap), proses minimasi jumlah eksperimen ditunjukkan oleh tabel 2 yang hanya memerlukan 8 kombinasi level faktor (warna gelap). Berdasarkan tabel 2, dapat disusun Matrik *Orthogonal Array* $L_8(2^7)$ Standar berikut:

Tabel 3. Matriks Orthogonal Array $L_8(2^7)$

Trial	Colum Number						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Sumber: Belavendram, (1995)., Rizky (2018)

Tabel 4. Standard Orthogonal Array

2 Level 1	3 Level 1	4 Level 1	5 Level 1	Level of Combination
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(2^{40})$			$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{64}(2^1 \times 3^{25})$

Rasio Signal Terhadap Noise (S/N Rasio)

S/N ratio adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadrat dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. Ada beberapa jenis S/N rasio, yaitu

Smaller-the-Better (STB) : $S/N_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$

Larger-the-Better (LBT) : $S/N_{LBT} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$

Nominal-the-Better (NTB) : $S/N_{NTB} = 10 \log \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right]$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

dengan:

- n = jumlah tes didalam percobaan (*trial*)
- y_i = nilai respon dari cuplikan ke - i untuk jenis eksperimen tertentu

Efek Tiap Faktor

Efek tiap faktor terhadap nilai SNR., ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Efek faktor terhadap nilai SNR} = \frac{1}{a} \left(\sum \eta_o \right)$$

- o = Nomor eksperimen yang mempunyai level sama
- a = Jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom *orthogonal array*
- η = Nilai SNR yang digunakan

Jika nilai optimal masing-masing variabel respon diperoleh dari kombinasi level faktor yang berbeda, maka diperlukan langkah untuk mengoptimalkan seluruh variabel respon secara simultan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Eksperimen

Berkaitan dengan kebutuhan informasi yang akan digunakan dalam pelaksanaan eksperimen, pada penelitian ini dilakukan langkah-langkah perencanaan eksperimen berikut:

- a. Pemilihan karakteristik kualitas produk yang diteliti. Penelitian ini didesain untuk memperbaiki kualitas limbah cair laboratorium. Variabel respon yang digunakan adalah kadar COD dan TSS dengan satuan ppm dan fungsi obyektif STB (*smaller the better*).
- b. Identifikasi dan pemilihan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk. Faktor-faktor yang diduga mempengaruhi kualitas limbah cair laboratorium adalah pH lingkungan (A), volume coagulant (B), konsentrasi cationic flocculant (C), konsentrasi anionic flocculant anionik (D), waktu alir coagulant (E), waktu alir flocculant (F) dan kecepatan mixing (G). Faktor-faktor kendali beserta level yang diduga mempengaruhi kualitas limbah cair tersebut ditabulasikan sebagai berikut:

Tabel 5. Faktor Kendali

No	Faktor Kendali	Code	Level		
			1	2	3
1	PH Lingkungan	A	6	7	8
2	Vol Koagulan (ml)	B	5	10	15
3	Konsentrasi Flokulan Kationik (ml)	C	1	2	3

No	Faktor Kendali	Code	Level		
			1	2	3
4	Konsentrasi Flokulan Anionik (ml)	D	2	3	4
5	Waktu Alir Koagulan (ml/mnt)	E	2	3	5
6	Waktu Alir Flokulan (ml/mnt)	F	1	2	5
7	Kec Mixing (rpm)	G	50	100	200

c. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi : (1) *pH Meter* untuk mengatur pH air; (2) *TSS Meter* digunakan untuk mengukur endapan yang mengendap dalam air; (3) *Erlenmeyer, burette, beaker gelas, pipette* yang digunakan untuk uji COD; (4) *Magnetic Stirrer* digunakan sebagai pengaduk; (5) *Stopwatch*; (6) Neraca/timbangan untuk menimbang bahan sesuai kebutuhan/konsentrasi yang diinginkan; (7) Kertas pH sebagai kertas penunjuk nilai pH terhadap air yang diukur (sebagai pendekatan awal).

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi: (1) *FAS, H₂SO₄, K₂Cr₂O₇, AgSO₄, Hg₂SO₄*, bahan kimia yang digunakan untuk uji COD; (2) *Poly Aluminium Chlorida (PAC)*, sebagai coagulant; (3) *Polyethylene-Imine*, sebagai cationic flocculant; (4) *Polyacrylic Acid*, sebagai anionic flocculant; (5) *NaOH 0.5 N* sebagai penentu pH basa; (6) *HCL 0.5 N* sebagai penentu pH asam.

Pelaksanaan Eksperimen

Untuk mengidentifikasi kadar COD dan kadar TSS dilakukan eksperimen menggunakan *inner array L8*, dengan volume masing-masing sampel 500 ml menggunakan Beaker Glass yang sudah diberi kode (tanda) agar tidak terjadi kesalahan penentuan hasil akhir eksperimen.

Pengolahan Data

Berdasarkan data hasil eksperimen, untuk menentukan kombinasi level faktor yang menghasilkan kualitas limbah cair laboratorium yang optimal (berdasarkan kadar COD dan TSS) dilakukan langkah-langkah berikut:

Uji Statistik

- a. Berdasarkan jumlah data eksperimen yang besar $n = 108 > n = 30$, maka dapat diasumsikan data kadar COD dan kadar TSS berdistribusi normal.
- b. Berdasarkan Uji homogenitas dengan tingkat kepercayaan 95%, data kedua variabel respon dapat disimpulkan:
 1. Kadar COD memiliki $\chi^2_{hitung} = 0,003 < \chi^2_{tabel} = 7,815$ maka H_0 diterima artinya data hasil eksperimen kadar COD homogen atau asumsi kesamaan ragam terpenuhi.
 2. Kadar TSS memiliki $\chi^2_{hitung} = 0,029 < \chi^2_{tabel} = 7,815$ maka H_0 diterima artinya data hasil eksperimen kadar TSS homogen atau asumsi kesamaan ragam terpenuhi.
- c. Berdasarkan uji ANOVA data kedua variabel respon dapat disimpulkan:
 1. Kadar COD, berdasarkan tujuh faktor kendali di atas, yaitu faktor A, B, C, D, E, F dan G mempunyai F_{hitung} masing-masing 104,48; 19,00; 37,25; 46,26; 3,79; 6,71 dan 44,61 $> F_{tabel} = 3,09$ maka H_0 untuk semua faktor ditolak, berarti ada perbedaan pengaruh rata-rata semua faktor pada level yang berbeda secara signifikan terhadap kadar COD.
 2. Kadar TSS, berdasarkan tujuh kendali di atas, enam faktor diantaranya yaitu faktor A, C, D, E, F dan G mempunyai F_{hitung} masing-masing 178,37; 16,36; 12,44; 8,32; 11,48; dan 37,07 $> F_{tabel} = 4,013$ maka H_0 untuk faktor A, C, D, E, F dan G ditolak, berarti ada perbedaan pengaruh rata-rata faktor A, C, D, E, F dan G pada level yang berbeda secara signifikan terhadap kadar TSS. Faktor yaitu B mempunyai $F_{hitung} < F_{tabel}$, berarti tidak ada perbedaan pengaruh rata-rata faktor B, pada level yang berbeda secara signifikan terhadap kadar TSS.

S/N Ratio

Penentuan S/N Ratio untuk variabel respon kadar COD dan kadar TSS didasarkan pada fungsi obyektif STB. Nilai SNR ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 6. Nilai SNR

Trial	SNR		Trial	SNR	
	Kadar COD	Kadar TSS		Kadar COD	Kadar TSS
1	-45,71	-36,16	15	-40,90	-28,63
2	-41,50	-37,73	16	-40,51	-30,25
3	-43,22	-31,32	17	-42,41	-32,05
4	-42,80	-34,41	18	-41,83	-33,07
5	-43,86	-34,69	19	-41,78	-36,75
6	-42,76	-33,26	20	-42,07	-34,73
7	-43,21	-37,24	21	-44,05	-38,87
8	-42,78	-32,05	22	-42,12	-33,58
9	-39,64	-33,21	23	-41,96	-36,49
10	-32,00	-21,60	24	-44,45	-39,01
11	-33,44	-28,16	25	-41,52	-34,70
12	-38,41	-23,33	26	-41,99	-34,85
13	-40,47	-25,11	27	-43,45	-38,07
14	-43,08	-31,89			

Efek Tiap Faktor

Efek tiap faktor ditujukan untuk mengetahui formulasi yang akan menghasilkan kombinasi level faktor terbaik bagi masing-masing variabel respon.

a. Kadar COD

Tabel 7. Efek Tiap Faktor Kadar COD

	Faktor Kendali						
	A	B	C	D	E	F	G
1	-42,83	-40,24	-42,63	-42,43	-41,12	-42,10	-42,51
2	-39,23	-42,49	-40,03	-42,45	-41,46	-41,45	-41,63
3	-42,60	-41,93	-42,00	-39,78	-42,08	-41,11	-40,52
R	3,60	2,25	2,60	2,67	0,96	0,99	1,99

Ket:

- 1,2,3 : Level
 R : Range

Berdasarkan uji ANOVA diketahui bahwa semua faktor kendali berpengaruh terhadap kadar COD dan TSS. Tabel 7 menunjukkan bahwa kombinasi level faktor terbaik variabel respon kadar COD adalah: A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3.

b. Kadar TSS

Tabel 8. Efek Tiap Faktor Kadar TSS

	Faktor Kendali						
	A	B	C	D	E	F	G
1	-34,45	-32,07	-34,41	-33,16	-32,20	-33,21	-35,09
2	-28,23	-33,01	-31,45	-34,23	-33,63	-33,04	-32,73
3	-36,34	-33,94	-33,16	-31,63	-33,19	-32,77	-31,20
R	8,11	1,87	2,96	2,60	1,43	0,44	3,89

Ket:

- 1,2,3 : Level
 R : Range

Tabel 8 menunjukkan bahwa kombinasi level faktor terbaik variabel respon kadar TSS adalah: A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3. Karena kombinasi level faktor terbaik pada masing-masing variabel respon sama, maka kombinasi level faktor optimal kedua variabel respon tersebut adalah A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3 yaitu sistem bekerja pada kondisi pH 7, volume coagulant 15 ml, konsentrasi cationic flocculant 2 ml, konsentrasi anionic flocculant 4 ml, waktu alir coagulant 2 ml/mnt, waktu alir flocculant 5 ml/menit dan kecepatan mixing 100 rpm.

Eksperimen Konfirmasi

Kombinasi level faktor optimal kedua variabel respon tersebut adalah A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3. Kombinasi level faktor optimal ini belum pernah dieksperimenkan, untuk itu eksperimen konfirmasi. Berdasarkan hasil eksperimen konfirmasi dengan 4 kali pengulangan diperoleh rata-rata kadar COD dan kadar TSS masing-masing $\leq 39,7875$ ppm dan ≤ 12 ppm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis di atas, kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Kombinasi level faktor optimal kadar COD dan kadar TSS adalah A2 B1 C2 D3 E1 F3 G3 yaitu sistem bekerja pada kondisi pH 7, volume coagulant 15 ml, konsentrasi cationic flocculant 2 ml, konsentrasi anionic flocculant 4 ml, waktu alir coagulant 2 ml/menit, waktu alir flocculant 5 ml/menit dan kecepatan mixing 100 rpm.
2. Kombinasi level faktor optimal ini mampu menurunkan kadar COD dan TSS yang semula rata-rata 232,5 ppm dan 577,25 ppm menjadi $\leq 39,7875$ ppm dan ≤ 12 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

Audiana, Mia, Isna, Apriani, and Ulli, Kadaria. (2014). *Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik Lingkungan, Limbah*. 1–10.

Belavendram, N. (1995). *Quality By Design : Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. Prentice Hall International, New Jersey.

Choi, Jong Won, et al. (2018). Estimating Environmental Fate of Tricyclic Antidepressants in Wastewater Treatment Plant. *Science of the Total*

Environment, 634, 52–58.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.278>.

- Gaikwad, V., Jatti, V. S. (2018). Optimization of Material Removal Rate During Electrical Discharge Machining of Cryo-Treated NiTi Alloys using Taguchi's Method. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 30, 266-272.
- Gohil, V., Puri, Y, M. (2018). Optimization of Electrical Discharge Turning Process using Taguchi-Grey Relational Approach. *Procedia CIRP*, 68, 70-75.
- Kudłak, Blazej, et al. (2016). Environmental Risk Assessment of Polish Wastewater Treatment Plant Activity. *Chemosphere*, 160, 181–188.
- Kumar, S. M. R., Kulkarni, S. M. (2017). Analysis of Hard Machining of Titanium Alloy by Taguchi Method. *Materialstoday: Proceedings*, 4, 10729-10738.
- Liu, Y. Y., et al. (2013). Advanced Treatment of Effluent From Municipal WWTP With Different Metal Salt Coagulants: Contaminants Treatability and Floc Properties. *Separation and Purification Technology, Elsevier B.*, V., 120, 123–128. doi: 10.1016/j.seppur.2013.09.046.
- Ladou, J. S., Adiarto, H., Susanty, S. (2015). Usulan Kombinasi Terbaik Faktor yang Berpengaruh Terhadap Cacat Produk Botol Plastik 600ml Menggunakan Metode Full Factorial 2k Di PT. X. *Reka Integra*, 3, 317-326.
- Morali, U., Demiral, H., Sensoz, S. (2018). Optimization of Activated Carbon Production From Sunflower Seed Extracted Meal: Taguchi Design of Experiment Approach and Analysis of Variance. *Journal of Cleaner Production*, 189, 602-611.
- Naik, A. B., Reddy, A. C. (2018). Optimization of Tensile Strength in TIG Welding Using The Taguchi Method and Analysis of Variance (ANOVA). *Thermal Science and Engineering Progress*, 8, 327-339.
- Nia, P. M., Jenatabadi, H. S., Woi, P. M., Lotf, E. A., Alias, Y. (2019). The Optimization of Effective Parameters for Electrodeposition of Reduced Graphene Oxide Through Taguchi Method to Evaluate the Charge Transfer. *Measurement*, 137, 683-690.

- Purnomo, H., Lutfianto, S., Apsari, A. E. (2018). Quality Design of Batik Tulis using the Taguchi Method. *Internasional Journal of Research Science and Management*, 5, 1-7.
- Purnomo, H., Widananto, H., Sulistio, J. (2018). The Optimization of Soft Body Armor Materials Made from Carbon-Aramid Fiber using the Taguchi Method. *AIP Conference Proceedings*, 1997.
- Ross, J. P. (1988). *Taguchi Technique For Quality Engineering*. Mc. Graw-Hill, Inc, New York.
- Rizky, D. A. 2018. Analisis Perbaikan Kualitas Pada Batik Tulis Malang Dengan Menggunakan Metode Taguchi. Sarjana Thesis. Universitas Brawijaya.
- Sudjana (1991). *Desain dan Analisis Eksperimen*. Tarsito, Bandung.
- Teimortashlu, E., Dehestani, M., Jalal, M. (2018). Application of Taguchi Method for Compressive Strength Optimization of Tertiary Blended Self-Compacting Mortar. *Construction and Building Materials*, 190, 1182-1191.
- Ugrasen, G., Singh, M. R. B., Ravindra, H. V. (2018). Optimization of Process Parameters for SS304 in Wire Electrical Discharge Machining using Taguchi's Technique. *Materialstoday: Proceedings*, 5, 2877-2883.
- Zolgharnein, J., Rastgordani, M. (2019). Optimization of Simultaneous Removal of Binary Mixture of Indigo Carmine and Methyl Orange Dyes by Cobalt.