

OPTIMASI PARAMETER DESAIN LAMBUNG KAPAL PENGANGKUT MESIN AUTOMATED RIVER (AURI) CLEANER DI SUNGAI UNTUK MEMINIMASI SEAKEEPING MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETER ON AUTOMATED RIVER (AURI) MACHINE VESSEL HULL FOR SEAKEEPING MINIMIZING IN RIVER USING TAGUCHI METHOD

Muhammad Rayes Fitra Gifari¹, Rino Andias Anugraha², Ilma Mufidah³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹rayesgifari@telkomuniversity.ac.id, ²rinoandias@telkomuniveristy.co.id,

³ilmamufidah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Usaha pengurangan kuantitas sampah yang terbawa aliran sungai semakin ditingkatkan setiap tahunnya. Kuantitas sampah berjumlah banyak dapat mengakibatkan banjir di lingkungan sekitar sungai. Studi ini merupakan salah satu solusi akan permasalahan tersebut dengan merancang kapal pada mesin *Automated River (AURI) Cleaner*. Kapal pada *AURI Cleaner* ini dioptimasi agar mesin dapat bekerja dengan stabil dan gerakan kapal tidak terlalu besar. Parameter kontrol yang akan dioptimasi untuk menghasilkan hasil yang stabil adalah jenis kapal dan panjang kapal. Jenis kapal yang digunakan pada studi ini adalah *Catamaran*, *SWATH (Small Waterplane Area Twin Hull)* dan *Monohull*. Sedangkan panjang kapal dipilih berdasarkan metode *Enlarge Ship Concept* dengan menaikkan ukuran kapal sebesar 25% per level nya dan dilakukan pembulatan sehingga dipilih ukuran 5 meter, 6 meter dan 7 meter. Variabel responnya merupakan aspek *seakeeping criteria*, yaitu *pitching*, *rolling* dan *heaving* lalu dioptimasi menggunakan metode *Taguchi*. Metode *Taguchi* tidak dapat mengoptimasi beberapa respon sekaligus, sehingga digunakan pendekatan *Grey-Relational Analysis* untuk mengatasi permasalahan multi-respon. Merujuk pengolahan data yang telah dilakukan, parameter optimal untuk *seakeeping criteria* pada aspek *pitching*, *rolling* dan *heaving* adalah jenis kapal *Catamaran* pada panjang 7 meter. Parameter jenis kapal dan panjang kapal memiliki pengaruh yang saling berhubungan terhadap nilai respon dengan nilai *P-value* secara berturut-turut 0,002 dan 0,006 dengan metode uji ANOVA. Setelah menggunakan uji *Post-hoc Fisher Least Significant Difference (LSD)*, maka diketahui bahwa perubahan level Jenis Kapal dari *Monohull* ke *Catamaran* dan perubahan Panjang Kapal dari 7 meter ke 5 meter berdampak signifikan terhadap hasil simulasi.

Kata kunci: ESC, *seakeeping criteria*, metode *taguchi*, GRA

Abstract

Efforts to reduce the quantity of waste carried by the river flow are increasing every year. The quantity of large amounts of waste can cause flooding in the environment around the river. This study is one solution to this problem by designing ship on the *Automated River (AURI) Cleaner* machine. The vessel on the *AURI Cleaner* is optimized so that the engine can work stable and the motion of the ship is not too active. The control parameters that will be optimized to produce stable results are the type of vessels and the length of the vessels. The types of vessels used in this study are *Catamaran*, *SWATH* and *Monohull*. While the length of the ship was chosen based on the *Enlarge Ship Concept* method by increasing the size of the ship by 25% per level and rounding down so that the size of 5 meters, 6 meters and 7 meters was chosen. The response variable is the aspect of *seakeeping criteria*, namely *pitching*, *rolling* and *heaving* and then optimized using the *Taguchi* method. The *Taguchi* method cannot optimize multiple responses at once, so the *Gray-Relational Analysis* approach is used to overcome multi-response problems. Referring to data processing that has been done, the optimal parameter for *seakeeping criteria* in the *pitching*, *rolling* and *heaving* are *Catamaran Vessel Type* with 7 meters Length of the Vessel. The parameters of the type of vessel and the length of the vessel have a significant influence on the response with *P-value* respectively 0.002 and 0.006 calculated by ANOVA test. After using the *Post-hoc Fisher Least Significant Difference (LSD)* test, it is known that changes in the level of Ship Types from *Monohull* to *Catamaran* and changes in Ship Length from 7 meters to 5 meters have a significant impact on simulation results.

Keywords: ESC, *seakeeping criteria*, *taguchi* method, GRA

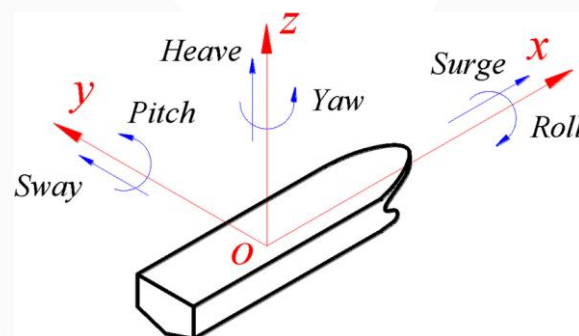
1. Pendahuluan

Timbunan sampah padat pada sungai dapat membuat aliran air semakin tinggi jika sampah terakumulasi di badan sungai. Sedangkan jika menimbun pada satu bagian, maka sungai akan semakin menyempit. Selain itu, sampah padat yang terbawa aliran air juga dapat menghambat aliran air di pintu sungai dan menyebabkan meluapnya air ke bantaran sungai. Sehingga pada musim hujan, air yang seharusnya mengalir seperti biasa terhalang dan akan menimbulkan banjir.

Dalam mengatasi masalah banjir yang diakibatkan oleh sampah, perlu diadakan restorasi hidrologi yang dapat memulihkan kualitas dan kuantitas air sungai [1]. Karena pada tahapan awalnya, limbah padat perlu ditanggulangi terlebih dahulu agar dapat mengurangi sumber polutan dari zat padat. Limbah padat ini dapat secara berkelanjutan merusak kualitas air sungai dan ekosistem di sungai. Sehingga perlu diadakan pembersihan dengan teknologi yang tepat guna terhadap limbah padat.

Automated River Cleaner merupakan sebuah mesin yang digunakan untuk mengangkat limbah padat ke sungai. Dengan adanya mesin pembersih sungai, waktu pembersihan akan menjadi lebih singkat, dan jumlah orang yang membersihkan sungai tersebut pun akan berkurang [2]. Waktu pembersihan ini akan berpengaruh pada kecepatan pengangkutan sampah dari sungai sehingga dalam waktu yang sama, sampah yang terkumpul lebih banyak dibandingkan dengan cara *manual*. Sehingga dalam waktu yang sama, sampah yang terkumpul dapat lebih banyak dibandingkan dengan cara mengumpulkan biasa. Mesin *Automated River Cleaner* ini ditopang oleh sebuah kapal yang dapat mengangkut seluruh komponen mesin.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomor 17 tahun 2008, kapal merupakan suatu alat angkut yang mengapung di air dengan bentuk, jenis, dan tenaga tertentu yang dapat berpindah maupun tidak. Kapal akan dihubungkan dengan konektor ke bantaran sungai agar kapal tidak hanyut terbawa arus. Adapun hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan desain kapal *Automated River Cleaner* adalah kriteria *seakeeping*, yaitu sebuah kriteria yang mempertimbangkan adanya gerakan *pitching*, *rolling* dan *heaving* pada sebuah kapal. Semakin kecil derajat dan besaran ketiga gerak tersebut, maka kapal dapat dikategorikan stabil [3]. Gambar 1 memperlihatkan aspek *Seakeeping* yang tergolong ke dalam *Six Degrees of Freedom*.



Gambar 1 *Six Degrees of Freedom*

Ketiga gerak tersebut perlu diminimasi agar mendapatkan pilihan desain akhir kapal yang stabil saat mengambang di sungai. Sehingga dilakukan optimasi parameter desain pemilihan jenis lambung kapal serta ukuran pada simulasi *seakeeping criteria*.

2. Dasar Teori Perancangan

2.1. *Seakeeping Analysis*

Seakeeping adalah tingkah laku kapal pada saat terkena ombak. Namun secara umum, *seakeeping* adalah kemampuan sebuah kapal bertahan saat terkena cuaca yang buruk di lautan. Atribut dari *seakeeping* adalah *pitching*, *rolling* dan *heaving*. Gerakan kapal saat bergerak dengan kecepatan U relatif terhadap arah yang dituju didefinisikan oleh kaidah poros tangan kanan, yang berpusat di *center of gravity* kapal dan akan selalu mengikutinya [5].

2.2. Metode *Taguchi*

Metode *Taguchi* adalah sebuah pendekatan statistika untuk memperbaiki kualitas yang aplikasinya secara luas digunakan berbagai bidang. Metode ini digunakan untuk pengembangan desain dalam mempelajari variasi, termasuk identifikasi untuk faktor kontrol yang tepat untuk menghasilkan hasil optimal dalam suatu proses. Eksperimen pada metode ini menggunakan *Orthogonal Array* (OA), hasil eksperimen tersebut akan digunakan untuk menganalisa data dan merepresentasikan kualitas dari komponen yang dihasilkan [7].

2.3. Orthogonal Array

Orthogonal Array merupakan sebuah teknik yang digunakan untuk mengukur *loss function* yang terkait dengan produk ataupun proses, desain, dan eksperimen statistik pada metode *Taguchi* [8]. *Array L* yang memiliki permutasi dari faktor *level* terpilih sehingga responnya tidak saling berkorelasi dengan properti yang sama, melainkan setiap perlakuan memberikan informasi yang unik.

2.4. Signal to Noise Ratio

Signal to Noise Ratio adalah pengukuran antara *signal power* dan *noise power*, yang digambarkan pada persamaan di bawah ini:

$$S/N = 10 \log_{10} \frac{\text{Signal Power}}{\text{Noise Power}} \quad (1)$$

Secara umum, *signal power* dan *noise power* ditafsirkan sebagai nilai rata-rata dan standar deviasi dari sebuah indeks [9].

Terdapat 3 kasus pada *Signal to Noise Ratio* yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihannya:

- *Nominal is Best*

$$S/N \text{ Ratio} = 10 \log_{10} \left(\frac{y^2}{s^2} \right) \quad (2)$$

Persamaan diatas menunjukkan karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan.

- *Smaller is Better*

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum y_i^2 \right) \quad (3)$$

Persamaan diatas menunjukkan karakteristik kualitas dengan batas nilai nol namun non negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan.

- *Larger is Better*

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i(j)^2}}{n} \right) \quad (4)$$

Persamaan diatas menunjukkan karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan tidak negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan.

2.5. Grey-Relational Analysis (GRA)

GRA adalah sebuah model yang digunakan untuk ketidakpastian sistem baik sistem tersebut memiliki informasi yang diketahui ataupun tidak diketahui. Dalam menampilkan ketidakpastian sistem tersebut, sistem GRA menggunakan informasi yang telah diketahui, tidak diketahui dan ada beberapa yang diketahui serta tidak diketahui [10]. Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan *Grey-Relational Generation* atau normalisasi S/N ratio yang merupakan tahap awal dari GRA:

$$x_{ij} = \frac{\max\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - y_{ij}}{\max\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \min\{y_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (5)$$

Keterangan: x_{ij} = Nilai normalisasi pada eksperimen ke- i dan respon j

y_{ij} = Nilai eksperimen ke- i pada respon j

Setelah didapatkan nilai normalisasi, maka selanjutnya adalah menghitung nilai delta, berikut adalah persamaan untuk mencari nilai delta.

$$\Delta_{ij} = |x_{0j} - x_{ij}| \quad (6)$$

Nilai delta merupakan nilai *input* dari *Grey-Relational Coefficient* (GRC), berikut merupakan persamaan untuk menghitung GRC.

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta \min + \zeta \Delta \max}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta \max} \quad (7)$$

Kemudian nilai GRC digunakan untuk menghitung GRG menggunakan persamaan berikut.

$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma(x_{0j}, x_{ij}) \quad (8)$$

Keterangan: $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ = *Grey-Relational Coefficient* (GRC)

ζ = Koefisien pembeda/identifikasi. Pada umumnya menggunakan nilai 0,5 (Tosun, 2014)

Δ_{ij} = Nilai delta eksperimen i & respon j

x_{0j} = Nilai maksimum dari hasil normalisasi.

x_{ij} = Nilai pada eksperimen ke- i dan respon j

$\Delta \max$ = Nilai maksimum Δ_{ij}

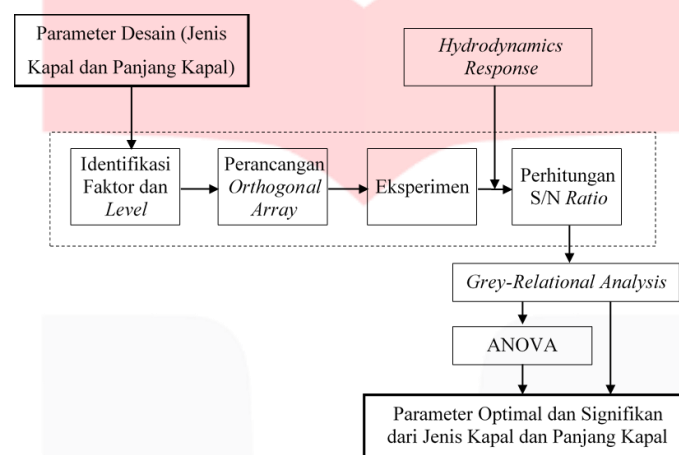
$\Delta \min$ = Nilai minimum Δ_{ij}

2.6. Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA digunakan untuk menentukan signifikansi parameter input dari beberapa hasil eksperimen DOE [11]. ANOVA juga dapat digunakan untuk menampilkan data pada suatu eksperimen, sehingga ANOVA dilakukan untuk menentukan faktor mana yang paling signifikan dengan cara membagi variabilitas total dari sebuah nilai, yang diukur dengan kuadrat deviasi dari rata-rata total dari penilaian yang berasal dari inputan parameter desain dan *error* [12]. Karena luaran studi ini memiliki lebih dari satu faktor dan ANOVA dapat menganalisa signifikansi antar faktor, maka dari itu tipe ANOVA yang dipilih adalah *Two-Way* ANOVA. *Two-way* ANOVA yang dilakukan pada studi ini memiliki nilai kepercayaan 95% (0,95) dan level signifikansi 5% (0,05). Signifikansi tersebut ditunjukkan oleh *p-value*; apabila *p-value* lebih dari 0,05, maka faktor yang dipilih tidak signifikan [11]. Apabila *p-value* signifikan, maka uji ANOVA berlanjut ke uji *Post-hoc* untuk mengidentifikasi perubahan *level* mana yang signifikan.

2.7. Model Konseptual

Model konseptual merupakan suatu dasar pemikiran mengenai konsep pada sebuah studi. dibawah menunjukkan model konseptual dari studi ini.



Gambar 2 Model Konseptual Studi

3. Pembahasan

3.1. Identifikasi Faktor dan Level

Faktor dan *level* perlu diidentifikasi terlebih dahulu agar dapat diketahui tujuan ataupun *output* dari simulasi. Berikut adalah dua faktor dan tiga level yang terpilih:

Tabel 1 Faktor dan Level

Faktor	Deskripsi	Level		
		1	2	3
A	Jenis Kapal	Catamaran	SWATH	Monohull
B	Panjang Kapal	5	6	7

Jenis kapal pada faktor digunakan untuk menentukan jenis kapal yang baik digunakan pada perairan sungai sehingga ketiga jenis kapal yang memiliki spesifikasi *seakeeping criteria* yang baik dipilih menjadi level. Lalu panjang kapal dipilih menjadi level berdasarkan *Enlarged Ship Concept* (ESC) dengan penambahan 25% dari panjang awal. Panjang awalnya adalah sebesar lima meter, lalu pada level 2 menjadi enam meter setelah pembulatan dan pada level 3 menjadi tujuh meter setelah pembulatan.

3.2. Orthogonal Array

Faktor dan *level* yang telah dipilih selanjutnya akan dimasukkan ke dalam *orthogonal array*. Berikut adalah *orthogonal array* yang dibuat menggunakan *software* minitab:

Tabel 2 Orthogonal Array Eksperimen

Eksperimen	A	B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1

Eksperimen	A	B
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

Setelah membuat *orthogonal array*, maka *orthogonal matrix* dapat dibuat. *Orthogonal Matrix* adalah *orthogonal array* yang telah dimasukan nilai *level*-nya. Catamaran pada kolom A merupakan level 1 dengan faktor jenis kapal, sedangkan 5 pada kolom B adalah panjang kapal dan selanjutnya mengikuti aturan tersebut. *Orthogonal Matrix* dibuat sebagai berikut:

Tabel 3 *Orthogonal Matrix*

Eksperimen	A	B
1	Catamaran	5
2	Catamaran	6
3	Catamaran	7
4	SWATH	5
5	SWATH	6
6	SWATH	7
7	Monohull	5
8	Monohull	6
9	Monohull	7

3.3. Pelaksanaan Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan mensimulasikan gerakan *pitching*, *rolling* dan *heaving* pada kapal yang merupakan kategori *seakeeping criteria*. Eksperimen ini disimulasikan menggunakan *software* ANSYS AQWA berdasarkan *orthogonal matrix* yang sebelumnya telah dibuat. Berikut adalah hasil dari simulasi berupa *pitching*, *rolling*, dan *heaving*:

Tabel 4 Hasil Simulasi *Hydrodynamic Response*

Eksperimen ke-	<i>Pitching</i>	<i>Rolling</i>	<i>Heaving</i>
1	0,1955	0,00228	0,629
2	0,2667	0,00173	0,1103
3	0,1804	0,00354	0,05545
4	0,268	0,00374	0,8973
5	0,2829	0,00604	0,3218
6	0,2485	0,00189	0,09414
7	1,006	0,04012	0,1176
8	1,024	0,01677	0,089
9	0,904	0,00591	0,04801

Berdasarkan hasil eksperimen pada tabel 4, didapatkan nilai *pitching* paling minimal adalah sebesar 0,1808, sedangkan yang paling maksimal adalah 1,052. Lalu selanjutnya untuk *rolling*, minimal sebesar 0,001873 dan maksimal sebesar 0,04196. Terakhir pada aspek *heaving* nilai minimalnya sebesar 0,01279 dan nilai maksimalnya sebesar 0,5227.

3.4. Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* per Eksperimen

Dalam perhitungan *S/N Ratio* dibutuhkan *output* dari pelaksanaan eksperimen yang berupa nilai *pitch*, *roll* dan *heave*. Perhitungan *S/N Ratio* bertujuan untuk mengetahui dan meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang timbul pada pelaksanaan eksperimen. Pada penelitian ini, karakteristik kualitas yang digunakan adalah *Smaller is Better* dikarenakan semakin kecil nilai *stress* dan *weight*, semakin baik daya apung yang didapat. Dalam perhitungan *S/N Ratio Smaller is Better* digunakan persamaan (3). Perhitungan *S/N Ratio* per eksperimen dihitung menggunakan *minitab statistical software*.

Tabel 5 *S/N Ratio* per Eksperimen

Eksperimen Ke-	<i>S/N Pitching</i>	<i>S/N Rolling</i>	<i>S/N Heaving</i>
1	14,177	52,857	4,027
2	11,480	55,244	19,149
3	14,875	49,017	25,122
4	11,437	48,547	0,941
5	10,967	44,376	9,848
6	12,093	54,480	20,525

Eksperimen Ke-	<i>S/N Pitching</i>	<i>S/N Rolling</i>	<i>S/N Heaving</i>
7	-0,052	27,933	18,592
8	-0,206	35,509	21,012
9	0,877	44,576	26,373

3.5. Grey-Relational Analysis (GRA)

Grey-Relational Analysis (GRA) adalah sebuah analisis yang dapat mengoptimasi beberapa respon yang sebelumnya telah diolah pada metode *Taguchi*. Metode *Taguchi* hanya dapat mengoptimasi satu respon dari eksperimen tersebut. Langkah awal GRA adalah dengan melakukan *Grey-Relational Generation* atau normalisasi pada *S/N Ratio*. Berikut merupakan nilai normalisasi *S/N Ratio* menggunakan persamaan (5) *Smaller is Better*.

Tabel 6 Normalisasi *S/N Ratio*

Eksperimen Ke-	Normalisasi <i>Pitching</i>	Normalisasi <i>Rolling</i>	Normalisasi <i>Heaving</i>
1	0,046	0,087	0,879
2	0,225	0,000	0,284
3	0,000	0,228	0,049
4	0,228	0,245	1,000
5	0,259	0,398	0,650
6	0,184	0,028	0,230
7	0,990	1,000	0,306
8	1,000	0,723	0,211
9	0,928	0,391	0,000

Setelah itu, nilai normalisasi tersebut digunakan untuk mencari nilai *Grey-Relational Coefficient* (GRC) yang terlebih dahulu perlu dicari nilai deltanya dengan persamaan (6). Tabel berikut merupakan nilai delta untuk mencari GRC.

Tabel 7 Nilai Delta

Eksperimen Ke-	<i>Pitching</i>	<i>Rolling</i>	<i>Heaving</i>
1	0,954	0,913	0,121
2	0,775	1,000	0,716
3	1,000	0,772	0,951
4	0,772	0,755	0,000
5	0,741	0,602	0,350
6	0,816	0,972	0,770
7	0,010	0,000	0,694
8	0,000	0,277	0,789
9	0,072	0,609	1,000

Dari nilai delta tersebut lalu dihitung GRC. GRC dihitung menggunakan persamaan (7), dan dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 8 Nilai *Grey-Relational Coefficient*

Eksperimen Ke-	<i>Pitching</i>	<i>Rolling</i>	<i>Heaving</i>
1	0,344	0,354	0,805
2	0,392	0,333	0,411
3	0,333	0,393	0,345
4	0,393	0,398	1,000
5	0,403	0,454	0,588
6	0,380	0,340	0,394
7	0,980	1,000	0,419
8	1,000	0,643	0,388
9	0,874	0,451	0,333

Tahap akhir pada GRA adalah dengan menghitung *Grey-Relational Grade* (GRG) dengan persamaan (8). Tabel GRG adalah sebagai berikut. Nilai GRG ini digunakan untuk perhitungan *S/N Ratio* per *Level* dalam mendapatkan faktor yang optimal.

Tabel 9 Nilai *Grey-Relational Grade*

Eksperimen Ke-	Nilai GRG
-----------------------	------------------

Eksperimen Ke-	Nilai GRG
1	0,501
2	0,379
3	0,357
4	0,597
5	0,482
6	0,371
7	0,800
8	0,677
9	0,553

3.6. Perhitungan S/N Ratio per Level

Perhitungan S/N ratio per level bertujuan untuk mengoptimasi faktor jenis kapal dan panjang kapal. Hasil S/N ratio per level tersebut dihitung berdasarkan hubungan antara salah satu respon (*pitching*, *rolling* dan *heaving*) dengan kedua faktornya. Sedangkan optimasi seluruh respon dihitung dari nilai *grey-relational grade* dengan kedua faktor. Keempat tabel dibawah memperlihatkan S/N ratio per level pada respon *pitching*, *rolling*, *heaving* dan optimasi keseluruhan respon secara berturut-turut.

Tabel 10 Optimasi Signal-to-Noise Ratio

Level	Jenis Kapal	Panjang Kapal
1	7,794	4,142
2	6,478	6,055
3	3,493	7,568
Delta	4,300	3,426
Rank	1	2

Level merupakan tingkatan pada eksperimen yang dilakukan dari faktor jenis kapal dan panjang kapal. Lalu delta merupakan selisih dari nilai maksimum pada kedua faktor dengan nilai minimum. Sedangkan rank menunjukkan pengaruh faktor yang signifikan terhadap hasil. Tabel 10 memperlihatkan bahwa faktor jenis kapal memiliki hasil yang lebih signifikan terhadap panjang kapal karena rank jenis kapal lebih tinggi dibandingkan panjang kapal. Tabel 10 merupakan hasil optimasi faktor keseluruhan menggunakan kombinasi faktor *pitching*, *rolling* dan *heaving*.

3.7. Two-Way ANOVA

Tabel IV.8.1 merupakan hasil uji *two-way* ANOVA. Uji ini bertujuan untuk menganalisa apakah kedua faktor signifikan terhadap respon. Uji *two-way* ANOVA ini dilakukan menggunakan *Software* minitab.

Tabel 11 Hasil Two-Way ANOVA

Faktor	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
Jenis Kapal	2	0,112	0,056	55,55	0,001
Panjang Kapal	2	0,064	0,032	31,69	0,004
Jenis*Panjang	4	0,004	0,001	0,02	0,999

Kesimpulan berdasarkan hasil uji ANOVA tersebut adalah faktor Jenis Kapal dan Panjang Kapal memberikan efek yang signifikan terhadap respon, karena keduanya memiliki P-Value $\leq 0,05$ yaitu secara berturut-turut 0,001 dan 0,006.

3.8. Uji Post-hoc Fisher's Least Significant Different (LSD)

Uji *Post-hoc* LSD digunakan untuk mencari tingkatan level mana yang saling berketerkaitan secara signifikan. Berikut merupakan perhitungan LSD menggunakan *software* Minitab.

Tabel 12 Uji Post-hoc LSD Jenis Kapal

Perbedaan Level Pada Jenis Kapal	P-Value
2-1	0,052
3-1	0,001
3-2	0,002

Tabel 12 merepresentasikan bahwa perubahan jenis kapal dari *Monohull* ke Catamaran berpengaruh secara signifikan terhadap hasil eksperimen.

Tabel 13 Uji *Post-hoc* LSD Panjang Kapal

Perbedaan Level Pada Panjang Kapal	P-Value
6-5	0,010
7-5	0,001
7-6	0,030

Tabel 13 merepresentasikan bahwa perubahan panjang kapal dari 7 meter ke 5 meter berpengaruh secara signifikan terhadap hasil eksperimen.

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada studi Optimasi Parameter Desain Kapal Pengangkut Mesin *Automated River (AURI) Cleaner* Sungai Menggunakan Metode *Taguchi* untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. *Level* optimum untuk kombinasi faktor Jenis Kapal dan Panjang Kapal dari segi *pitching* adalah Jenis Kapal Catamaran dengan Panjang Kapal tujuh meter. Pada *level* tersebut *seakeeping criteria* pada kapal merupakan yang paling stabil. Berikut adalah data *output* hasil eksperimennya. Pada aspek *pitching* kapal bergerak dengan putaran bersudut 0,181 radian (10,36°), lalu *rolling* sebesar 0,007 radian (0,40°) dan *heaving* sebesar 0,046 meter.
2. Perubahan ukuran jenis kapal berdampak secara signifikan kepada *output pitching*, *rolling* dan optimasi dari ketiganya. Sedangkan faktor panjang kapal berdampak secara signifikan terhadap *output heaving*-nya. Data tersebut disimpulkan berdasarkan perhitungan *S/N Ratio* per *Level*
3. Faktor Panjang Kapal dan Jenis Kapal memiliki nilai *P-Value* 0,002 dan 0,006 pada uji ANOVA yang menunjukkan bahwa kedua faktor tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap *seakeeping criteria*, namun tidak berpengaruh satu sama lainnya. Sedangkan pada uji *Post-hoc* disimpulkan bahwa pada faktor Jenis Kapal, perubahan *level Monohull* dengan Catamaran memberikan efek yang signifikan terhadap hasil. Lalu pada Panjang Kapal, perubahan *level* 7 meter dengan 5 meter memberikan efek yang signifikan terhadap hasil.

Daftar Pustaka:

- [1] P. Tirza, S. Sembada, and S. T. Tr, "Petunjuk teknis restorasi kualitas air sungai," no. 021, pp. 1–106, 2017.
- [2] S. S. Rafique and A. Langde, "Design And Fabrication Of River Cleaning Machine," *Int. J. Mod. Trends Eng. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 76–80, 2017.
- [3] G. A. P. Poundra, I. K. A. P. Utama, D. Hardianto, and B. Suwasono, "Optimizing Trimaran Yacht Hull Configuration Based on Resistance and Seakeeping Criteria," *Procedia Eng.*, vol. 194, pp. 112–119, 2017.
- [4] J. A. Keuning, "The Comparison of the Hydrodynamics Behaviour of Three Fast Patrol Boats with Special Hull Geometries," *Int. Conf. High Perform. Mar. Veh.*, pp. 8–10, 2006.
- [5] D. J. Taunton, "Methods for assessing the seakeeping performance of high speed displacement monohulls and catamarans.," University of Southampton, 2001.
- [6] R. Konda, K. P. Rajurkar, R. R. Bishu, A. Guha, and M. Parson, "Design of experiments to study and optimize process performance," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 16, no. 1, pp. 56–71, 1999.
- [7] S. Athreya and Y. D. Venkatesh, "Application Of Taguchi Method For Optimization Of Process Parameters In Improving The Surface Roughness Of Lathe Facing Operation," *Int. Ref. J. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 3, pp. 13–19, 2012.
- [8] A. Kumar and S. M. Ishtiaque, "Optimisation of a Textile Process Using Taguchi Method," *Open Text. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 16–28, 2009.
- [9] A. Freddi and M. Salmon, "Design Principles and Methodologies," 2018.
- [10] H. Malekpoor, K. Chalvatzis, N. Mishra, M. K. Mehlatat, D. Zafirakis, and M. Song, "Integrated grey relational analysis and multi objective grey linear programming for sustainable electricity generation planning," *Ann. Oper. Res.*, vol. 269, no. 1–2, pp. 475–503, 2018.
- [11] M. K. Balki, C. Sayin, and M. Sarikaya, "Optimization of the operating parameters based on Taguchi method in an SI engine used pure gasoline, ethanol and methanol," *Fuel*, vol. 180, pp. 630–637, 2016.
- [12] J. L. Lin and C. L. Lin, "The use of the orthogonal array with grey relational analysis to optimize the electrical discharge machining process with multiple performance characteristics," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 42, no. 2, pp. 237–244, 2002.