



TUGAS AKHIR - SS141501

OPTIMASI KUALITAS LAMPU GLS PRODUKSI PT PHILIPS INDONESIA SECARA SERENTAK DENGAN FUNGSI DESIRABILITY BERBASIS PSO-CF

FAROH LADAYYA
NRP 1311 100 007

Dosen Pembimbing
Dr. Sony Sunaryo, M.Si.
Co. Pembimbing
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

JURUSAN STATISTIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - SS141501

**QUALITY OPTIMIZATION OF GLS LAMP PRODUCED BY
PT PHILIPS INDONESIA SIMULTANEOUSLY USING
DESIRABILITY FUNCTION BASED PSO-CF**

FAROH LADAYYA
NRP 1311 100 007

Supervisor
Dr. Sony Sunaryo, M.Si.
Co. Supervisor
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

DEPARTMENT OF STATISTICS
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

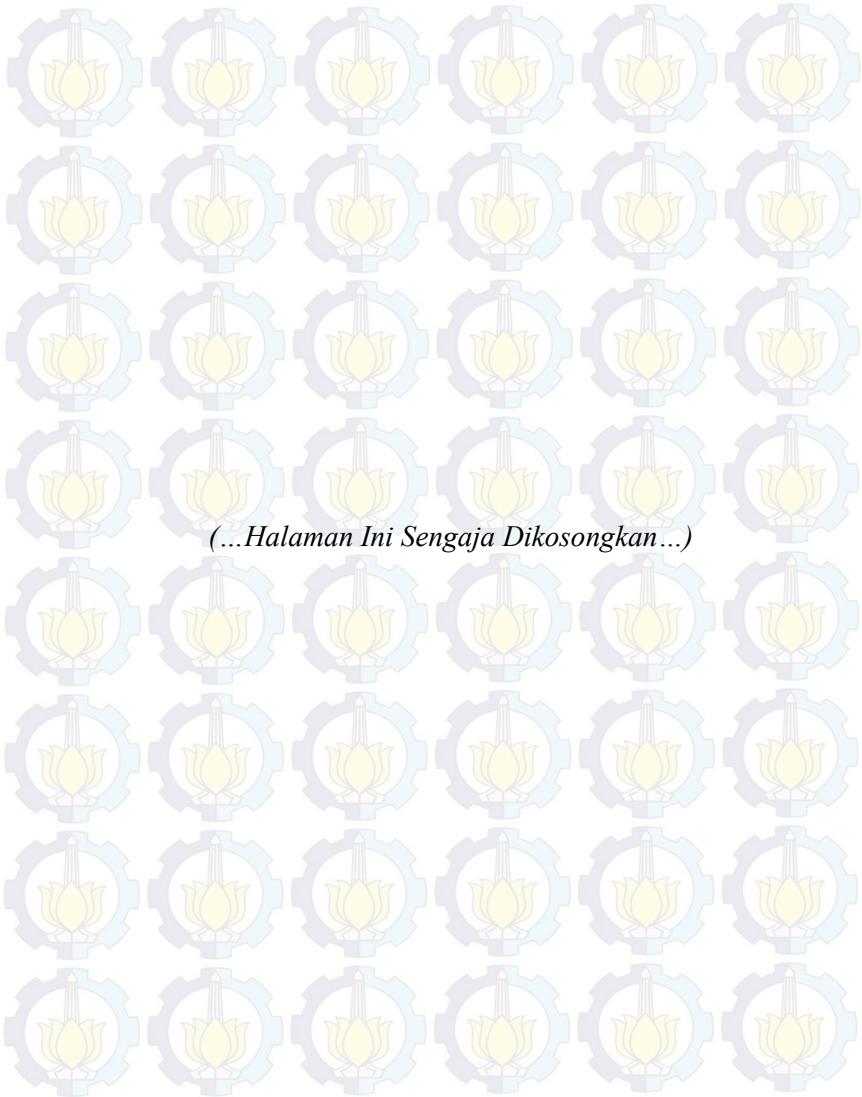
**OPTIMASI KUALITAS LAMPU GLS PRODUKSI PT.
PHILIPS INDONESIA SECARA SERENTAK DENGAN
FUNGSI DESIRABILITY BERBASIS PSO-CF**

Nama Mahasiswa : Faroh Ladayya
NRP : 1311 100 007
Jurusan : Statistika FMIPA-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sony Sunaryo, M.Si.
Co. Pembimbing : Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

Abstrak

Usaha yang dilakukan untuk menjaga kepercayaan konsumen pada kualitas lampu GLS produksi PT. Philips adalah dengan meningkatkan kualitas produknya. Kualitas lampu GLS diukur dari tiga variabel yaitu lumen, wattage, dan lifetime. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketiga variabel respon, yaitu PD (Pool Distance) dan CML (Constant Mounting Length). Pada penelitian ini digunakan fungsi desirability untuk mendapatkan nilai optimum kualitas lampu GLS secara serentak. Fungsi desirability dibentuk berdasarkan nilai prediksi respon yang didapatkan dari model response surface. Kombinasi level faktor yang menghasilkan nilai respon paling optimum didapatkan dengan memaksimalkan global desirability function. PSO-CF merupakan metode metaheuristik yang kemudian digunakan untuk memaksimalkan nilai global desirability. Nilai Optimasi menggunakan batas spesifikasi perusahaan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dan didapatkan hasil bahwa PSO-CF dan metode sebelumnya memberikan hasil nilai global desirability yang sama, yaitu sama dengan 1. Namun, PSO-CF mampu menemukan nilai lumen dan lifetime yang lebih baik. Sedangkan apabila digunakan batas berdasarkan hasil percobaan, PSO-CF mampu menghasilkan nilai global desirability 4,4137% lebih baik dari pada metode sebelumnya. Kombinasi level faktor yang didapatkan yaitu 24,1483 mm untuk PD dan 27,216 mm untuk CML.

Kata Kunci : *Desirability Function, Lampu GLS, PSO-CF*



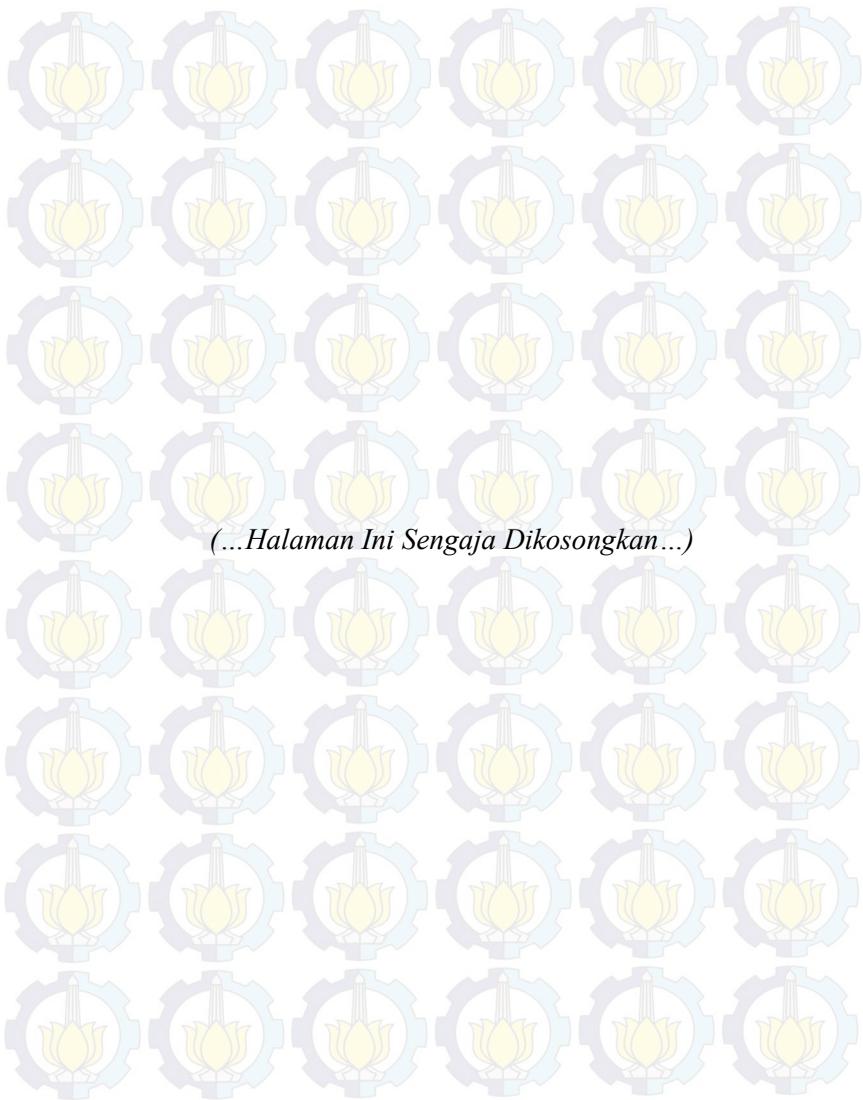
QUALITY OPTIMIZATION OF GLS LAMP PRODUCED BY PT. PHILIPS INDONESIA SIMULTANEOUSLY USING DESIRABILITY FUNCTION BASED PSO-CF

Name of Student : Faroh Ladayya
NRP : 1311 100 007
Department : Statistics FMIPA-ITS
Supervisor : Dr. Sony Sunaryo, M.Si.
Co. Supervisor : Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

Abstract

An effort to keep the consumer's trust at the quality of GLS lamps produced by PT. Philips is to improve the quality of the products. Quality of GLS lamps is measured from three variables: the lumen, wattage, and lifetime. There are two factors that influence three response variables, namely PD (Pool Distance) and CML (Constant Mounting Length). Desirability function that used in this research is to obtain the optimum value of GLS lamps quality simultaneously. Desirability function is formed based on the predictive value of the response that obtained from the response surface models. The combination of factor levels that generate the best optimum response values obtained by maximizing the global desirability function. PSO-CF is a metaheuristic methods that maximize the value of global desirability. The optimization value using boundary specification companies compared with previous studies and showed that PSO-CF and previous methods have the same value of desirability global, which is equal to 1. However, the PSO-CF is able to find the value of the lumen and lifetime better. Whereas when used boundary spesification based on the results of the experiment, PSO-CF is able to generate a global value desirability 1,76 % better than the previous method. The combination of factors levels obtained are 24.1578 mm for PD and 27.2134 mm for CML.

Keyword : Desirability Function, GLS Lamp, PSO-CF



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kepada Allah S.W.T., atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Optimasi Kualitas Lampu GLS Produksi PT. Philips Indonesia Secara Serentak dengan Fungsi *Desirability* Besbasis PSO-CF”**. Selain itu tidak lupa sholawat serta salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Dalam penulisan laporan ini penulis ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu dalam menyelesaikan proses Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

1. Bapak Dr. Sony Sunaryo, M.Si. dan Ibu Dra. Lucia Aridinanti, M.T. selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, saran, dukungan, kesabaran dan waktu yang diberikan kepada penulis hingga laporan Tugas Akhir ini selesai.
2. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T. dan Ibu Diaz Fitra Aksioma, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji atas kritik dan saran demi perbaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Drs. I Nyoman Budiantara, M.Si. selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama kuliah di Statistika ITS.
4. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T. selaku Ketua Jurusan Statistika ITS dan Ibu Lucia Aridinanti, M.T. selaku Ketua Program studi S1 Statistika ITS.
5. Seluruh dosen jurusan Statistika ITS, atas ilmu yang telah diberikan selama penulis berada di bangku kuliah.
6. Kedua orang tua tercinta Bapak Heri Mujianto dan Ibu Nurul Hidayati, S.Ag., serta Adik Nanda Roudia Maulin yang telah tanpa henti memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
7. Lovely best friend, Bernadeta, Chusnul, Cordova, dan Kartika atas segalanya.

8. Teman-teman pejuang 111, Reta, Indah, Kikik, Clara, dan Indana yang telah berbagi suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman sigma 22 great atas doa, dukungan, dan persahabatan yang tak terlupakan.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu hingga pelaksanaan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis merasa masih banyak kekurangan dari segi teknis penulisan maupun materi dari tugas Akhir ini. Oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak sangat diharapkan untuk perbaikan penelitian-penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

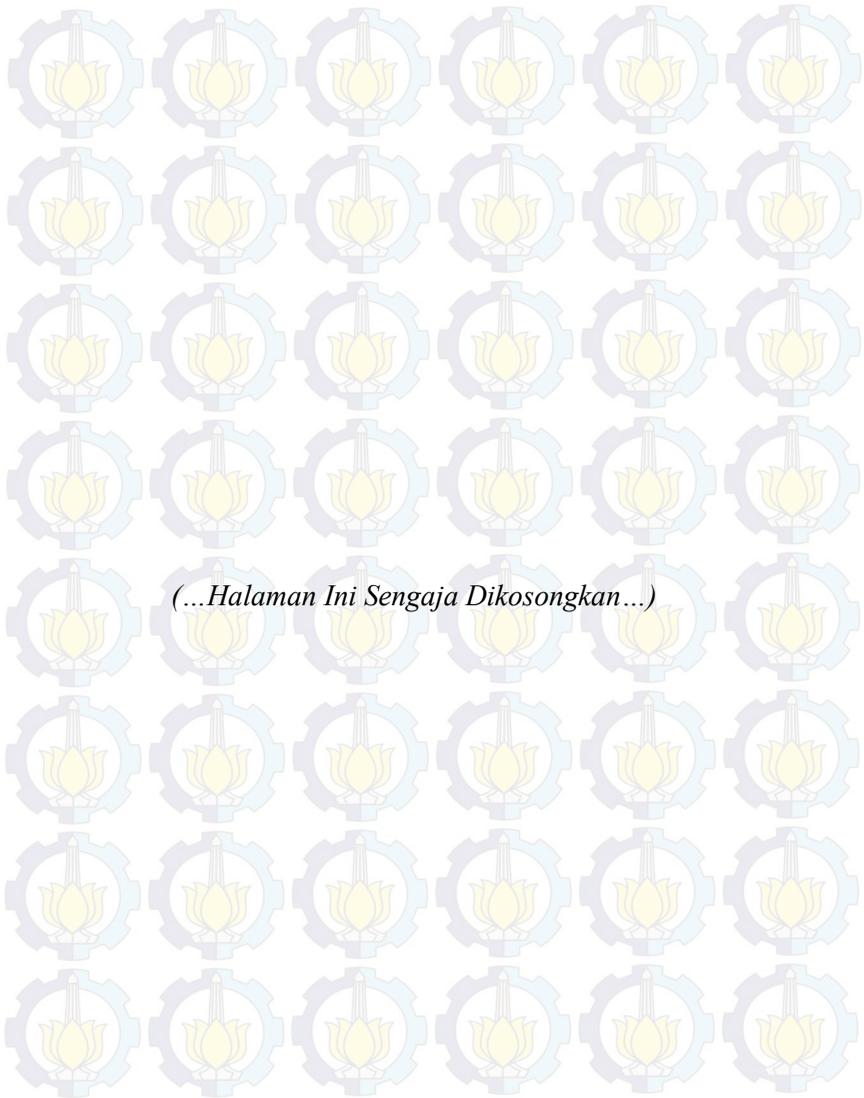
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Metode <i>Response Surface</i>	7
2.2 Analisis <i>Response Surface</i> Orde Dua	8
2.3 <i>Central Composite Design</i>	9
2.4 Pegujian Parameter Model.....	10
2.5 Pegujian Asumsi Residual	12
2.6 <i>Desirability Function</i>	14
2.7 <i>Particle Swarming Optimization Constriction Factor</i> (PSO-CF)	17

2.8 Lampu GLS	20
2.9 <i>Lumen</i>	21
2.10 <i>Watt</i> dan <i>Lifetime</i> Lampu	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Variabel Penelitian	23
3.2 Rancangan Eksperimen	25
3.3 Langkah-langkah Analisis	26
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Model Orde Dua Variabel Respon	29
4.1.1 Model Orde Dua <i>Lumen</i>	29
4.1.2 Model Orde Dua <i>Wattage</i>	33
4.1.3 Model Orde Dua <i>Lifetime</i>	38
4.2 <i>Desirability Function</i>	42
4.2.1 Fungsi <i>Individual Desirability</i>	42
4.2.2 Fungsi <i>Global Desirability</i>	46
4.3 <i>Particle Swarming Optimization Constriction Factor</i> (PSO-CF)	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN	57

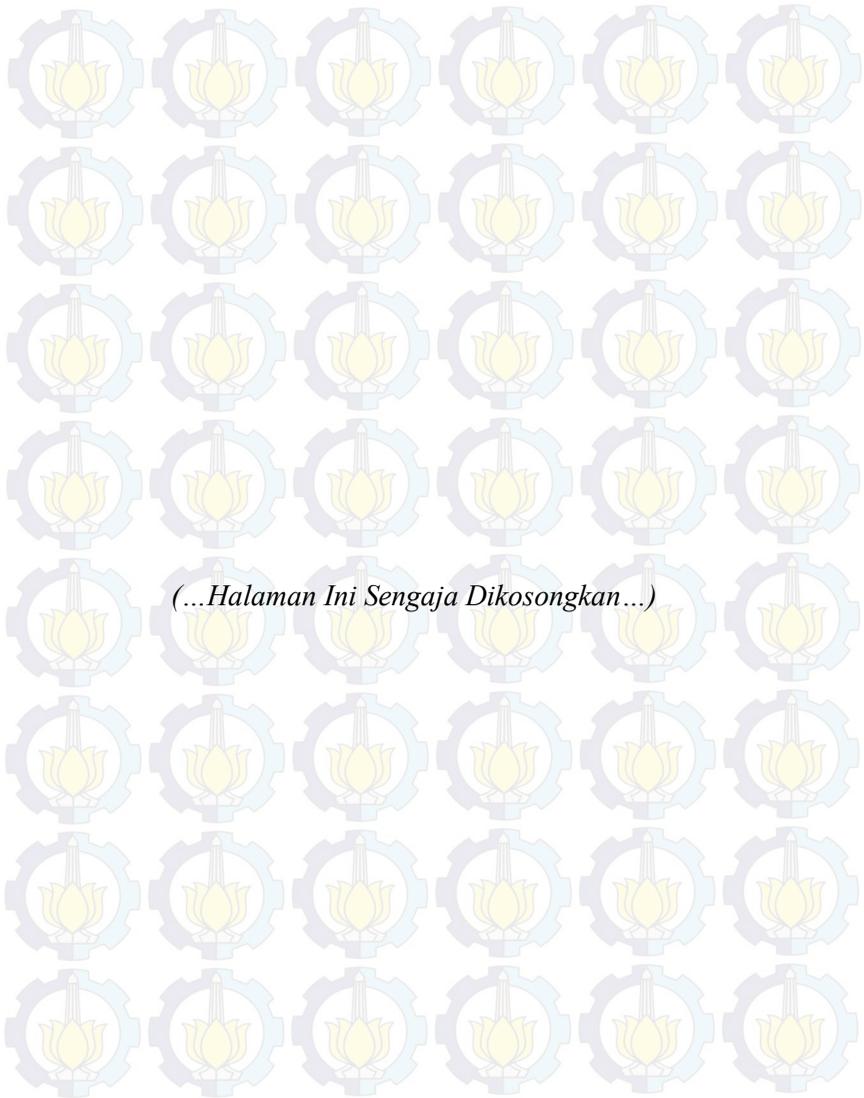
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir Langkah-langkah Analisis	28
Gambar 4.1 Plot ACF Residual Model Respon <i>Lumen</i>	32
Gambar 4.2 <i>Normality Test</i> Residual Model Respon <i>Lumen</i>	33
Gambar 4.3 Plot ACF Residual Model Respon <i>Wattage</i>	37
Gambar 4.4 <i>Normality Test</i> Residual Model Respon <i>Wattage</i>	37
Gambar 4.5 Plot ACF Residual Model Respon <i>Lifetime</i>	41
Gambar 4.6 <i>Normality Test</i> Residual Model Respon <i>Lifetime</i>	41
Gambar 4.7 Nilai Minimum Fungsi tiap Iterasi pada Spesifikasi Perusahaan	48
Gambar 4.8 Nilai Minimum Fungsi tiap Iterasi Berdasarkan Nilai Percobaan	49



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir Langkah-langkah Analisis	28
Gambar 4.1 Plot ACF Residual Model Respon <i>Lumen</i>	32
Gambar 4.2 <i>Normality Test</i> Residual Model Respon <i>Lumen</i>	33
Gambar 4.3 Plot ACF Residual Model Respon <i>Wattage</i>	37
Gambar 4.4 <i>Normality Test</i> Residual Model Respon <i>Wattage</i>	37
Gambar 4.5 Plot ACF Residual Model Respon <i>Lifetime</i>	41
Gambar 4.6 <i>Normality Test</i> Residual Model Respon <i>Lifetime</i>	41
Gambar 4.7 Nilai Minimum Fungsi tiap Iterasi pada Spesifikasi Perusahaan	48
Gambar 4.8 Nilai Minimum Fungsi tiap Iterasi Berdasarkan Nilai Percobaan	49



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Rancangan Eksperimen Lampu GLS.....	59
Lampiran 2. Program <i>Particle Swarming Optimization</i> <i>Constriction Factor</i>	60
Lampiran 3. Program <i>Desirability Function</i> dengan Spesifikasi Perusahaan.....	62
Lampiran 4. Program <i>Desirability Function</i> dengan Spesifikasi berdasarkan Percobaan	64
Lampiran 5. Output <i>Running</i> PSO-CF dengan Spesifikasi Perusahaan	66
Lampiran 6. Output <i>Running</i> PSO-CF dengan Spesifikasi Berdasarkan Percobaan	67
Lampiran 7. Output Model <i>Response Surface</i> Variabel <i>Lumen</i>	68
Lampiran 8. Output Model <i>Response Surface</i> Variabel <i>Wattage</i>	70
Lampiran 9. Output Model <i>Response Surface</i> Variabel <i>Lifetime</i>	72
Lampiran 10. Output <i>Response Surface Optimizer</i> dengan Spesifikasi Berdasarkan Percobaan.....	74
Lampiran 11. Output Pengujian Asumsi Residual Identik Model <i>Lumen</i>	75
Lampiran 12. Output Pengujian Asumsi Residual Identik Model <i>Wattage</i>	76
Lampiran 13. Output Pengujian Asumsi Residual Identik Model <i>Lifetime</i>	77
Lampiran 14. Tabel Nilai Kuantil Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	78



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lampu GLS tipe A55 yang digunakan dalam penelitian ini merupakan satu jenis lampu yang sering digunakan dimasyarakat. Meskipun pemerintah berniat melarang produksinya untuk konsumsi dalam negeri dan mewajibkan penggunaan lampu hemat energi pada kenyataannya masyarakat masih banyak yang menggunakan karena harganya yang murah dan mudah untuk didapatkan (Wahyuni, 2012). Untuk tetap menjaga kepercayaan konsumen maka kualitas dari lampu tentunya harus selalu ditingkatkan. Kualitas lampu GLS pada penelitian ini diukur dari tiga variabel yaitu *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* yang selanjutnya disebut variabel respon. *Lumen* adalah satuan dari *flux* cahaya yang dipancarkan, *wattage* adalah daya yang diperlukan lampu GLS, dan *lifetime* adalah umur lampu yang menyatakan dalam berapa jam lampu masih hidup. Ketiga variabel respon tersebut harus berada pada nilai yang paling optimum untuk mendapatkan kualitas yang terbaik. Masing-masing variabel memiliki tujuan optimasi yang berbeda-beda, untuk variabel *flux* cahaya tujuan optimasinya adalah memaksimumkan atau lebih dikenal dengan *higher the better*. Tujuan optimasi dari *wattage* adalah meminimumkan nilainya atau *smaller the better* sedangkan untuk *lifetime* tujuan optimasinya adalah *higher the better* atau memaksimumkan nilainya. Untuk mencapai nilai-nilai yang optimum tentunya tidak terlepas dari faktor-faktor yang mempengaruhi ketiga variabel respon tersebut. Fatima (2012) telah melakukan penelitian terhadap optimasi *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* lampu GLS produksi PT. Philips Indonesia secara serentak dengan fungsi *desirability*. Pada penelitiannya, Fatima menyebutkan bahwa besarnya nilai *Pool Distance* (PD) dan *Constant Mounting length* (CML) berpengaruh terhadap variabel *lumen*, *wattage*, dan *lifetime*.

Tujuan dari optimasi adalah untuk mendapatkan kombinasi level faktor terbaik berdasarkan ketiga variabel respon secara serentak atau bersama-sama. Agar didapatkan nilai optimum dari ketiga respon secara serentak maka digunakan metode *desirability function*. Dasar pemikiran dari *desirability function* adalah untuk merubah permasalahan multi respon kedalam single respon dengan transformasi matematis. Teknik tersebut berguna untuk analisis percobaan dimana terdapat beberapa respon didalamnya (Castillo, Montgomery, & McCarville, 1996). Fatima (2012) menggunakan *multiresponse surface* dan fungsi *desirability* untuk mendapatkan nilai optimum dari *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* secara serentak. Pada penelitian tersebut digunakan *response surface* untuk mencari faktor yang memberikan pengaruh terhadap respon. Setelah ditemukan, peneliti menggunakan fungsi *desirability* untuk mencapai *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* yang optimal. Pada penelitian ini, *respon surface* digunakan untuk melihat variabel proses yang berpengaruh terhadap respon *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* kemudian didapatkan model untuk ketiga respon tersebut. Model tersebut digunakan sebagai masukan dalam analisis menggunakan fungsi *desirability* berdasarkan karakteristik dari masing-masing respon yaitu *higher the better* untuk *lumen*, *smaller the better* untuk *wattage*, dan *higher the better* untuk *lifetime*. Masing-masing dari respon akan membentuk fungsi *desirability* yang kemudian dinyatakan dalam fungsi *global desirability*.

Terdapat banyak metode yang dapat digunakan untuk memaksimalkan *desirability function*. Metode pencarian langsung maupun optimasi berbasis *gradient* telah banyak digunakan pada beberapa literatur untuk memaksimalkan *desirability global*. Metode seperti *Hooked-Jeeves* dan *generalized reduce gradient* (GRG) telah banyak digunakan dengan pendekatan *desirability* pada metode *response surface*. Namun, menunjukkan hasil yang tidak mencukupi sehingga digunakan algoritma *meta-heuristic* dan didapatkan hasil bahwa *meta-heuristic* (SA dan GA) mampu mencapai solusi optimal

dengan nilai *global desirability* yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan GRG (Zadbood, Noghondarian, & Zadbood, 2013). PSO merupakan salah satu metode *heuristic* yang menggunakan konsep kecocokan sebagai model komputasi evolusioner (Kennedy & Eberhart, 1995). Hu dan Zhao (2011) melakukan optimasi multi-respon pada industri manufaktur dan didapatkan hasil bahwa algoritma PSO memiliki kemampuan di titik global dan konvergensi. Penelitian lain dari Alrijadjis dan Astrowulan (2010) didapatkan hasil, berdasarkan analisis numerik, tuning kontroler PID dengan algoritma PSO menghasilkan sistem dengan performansi yang lebih baik (khususnya overshoot) dibandingkan dengan metode-metode heuristik lainnya. Jika dibandingkan dengan algoritma optimasi *Simulated Annealing*, peningkatan *coverage* dari hasil optimasi PSO memiliki peningkatan yang lebih besar (Primasetya, Hendranto, & Endroyono, 2013). Penelitian lain juga dilakukan oleh Baskar, Asokan, Prabhakaran, dan Saravanan (2005) yang menerapkan metode optimasi non-konvensional pada mesin penggiling. Pada penelitiannya dilakukan optimasi menggunakan metode *genetic algorithm*, *tabu search*, *ant colony algorithm*, dan *particle swarming algorithm*, sehingga didapatkan hasil bahwa optimasi menggunakan PSO merupakan alat yang paling ampuh dalam mengatasi optimasi *multi-objective* pada mesin. Apabila ditinjau dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dapat diperoleh hasil bahwa metode heuristik merupakan metode yang lebih baik dalam menentukan nilai maksimum suatu fungsi apabila dibandingkan dengan GRG yang telah banyak digunakan dan apabila dibandingkan dengan metode heuristik yang lain, PSO mampu menghasilkan nilai yang lebih baik. Sehingga pada penelitian ini digunakan metode PSO untuk memaksimalkan *global desirability* yang selanjutnya akan didapatkan kombinasi level faktor yang terbaik. Terdapat penelitian yang dilakukan oleh Majumder, Das, Majumder, dan Debnath pada tahun 2014 untuk membandingkan beberapa jenis PSO dan didapatkan hasil, PSO biasa atau original (PSO-O) memiliki kemampuan konvergensi

yang kurang dibandingkan dengan PSO yang lain, oleh karena itu PSO-O tidak dapat dengan baik melakukan optimasi terhadap parameter proses EDM. Kinerja prediksi PSO dengan *Constriction-Factor* (PSO-CF) lebih baik daripada PSO-O dan PSO dengan *Inertia Weight* (PSO-IW). PSO-CF mampu menemukan lingkup yang baik dalam optimasi parameter proses EDM. PSO-CF mampu mencapai titik konvergen dengan jumlah iterasi lebih sedikit apabila dibandingkan dengan PSO-O dan PSO-IW. Selain itu PSO CF mampu meningkatkan nilai desirability indeks dari kondisi awal ke kondisi optimum sebesar 1,98%. Pada penelitian ini peneliti tertarik menggunakan PSO-CF untuk memaksimalkan *global desirability function* dan mendapatkan nilai kombinasi level faktor yang optimum. Penelitian sebelumnya juga telah dilakukan oleh Clerc (1999) yang mengindikasikan bahwa penambahan Constriction Factors (CF) pada PSO perlu dilakukan untuk memastikan partikel pada *swarm algorithm* konvergen.

Optimasi lampu GLS pada penelitian ini sebelumnya sudah dilakukan oleh Fatima (2012) dengan menggunakan pendekatan *desirability function* dan didapatkan hasil kondisi optimal secara serentak adalah 24,1 mm untuk *pool distance*, 28,5 mm untuk *constant mounting length*. Dugaan respon *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* masing-masing sebesar 1381,2040 lm, 99,29 watt, dan 1428,18 hours. Apabila dilihat hasil optimasi responnya, nilai lumen dan wattage sudah mendekati target yang ditetapkan perusahaan. Namun pada nilai *lifetime* didapatkan nilai 1428,18 jam. Nilai ini memang sudah mencapai target perusahaan yaitu 1000 jam, namun nilai optimasi yang didapatkan terpaut sangat jauh dengan nilai target. Walaupun karakteristik dari *lifetime* adalah *higher is better* namun 1428,18 jam adalah nilai yang sangat tinggi untuk lampu GLS sehingga tidak mungkin untuk dicapai dalam kenyataan. Selain itu ditinjau dari segi metode yang digunakan, penelitian Fatima (2012), mendapatkan maksimum dari fungsi desirability melalui Minitab yang programnya menggunakan *reduce gradien algorithm* untuk

memaksimumkan nilainya. Pada penelitian ini akan digabungkan antara model taksiran dari masing-masing respon menggunakan *response surface*, fungsi *desirability* dan PSO-CF. Dari metode yang digunakan diharapkan akan didapat nilai optimasi yang lebih tepat, mengingat bahwa metode *heuristic* mampu memaksimumkan fungsi *desirability* dengan lebih baik apabila dibandingkan dengan GRG, dan memungkinkan untuk diterapkan. Hasil dari penelitian ini akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fatima (2012) yang menggunakan pendekatan *desirability function* untuk optimasi *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* pada lampu GLS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana model terbaik untuk masing-masing variabel respon *lumen*, *wattage*, dan *lifetime*?
2. Bagaimana kombinasi level faktor yang tepat untuk *Pool Distance* (PD) dan *Constant Mounting Length* (CML) sehingga didapatkan *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* optimum?
3. Bagaimana perbandingan hasil optimasi yang diperoleh dari metode pendekatan fungsi *desirability* yang telah dilakukan oleh Fatima (2012) dengan hasil optimasi metode *desirability function* berbasis PSO-CF?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan model terbaik untuk masing-masing variabel respon *lumen*, *wattage*, dan *lifetime*
2. Mendapatkan kombinasi level faktor yang tepat untuk pool distance dan CML sehingga didapatkan *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* optimum

3. Membandingkan hasil optimasi yang diperoleh dari metode pendekatan fungsi *desirability* yang telah dilakukan oleh Fatima (2012) dengan hasil optimasi metode *desirability function* berbasis PSO-CF.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat untuk dapat menjadikan metode sebagai pertimbangan dalam kasus optimasi multirespon. Dapat memberikan saran dan rekomendasi untuk perusahaan dari hasil dari optimasi menggunakan *desirability function* berbasis PSO-CF yang diterapkan pada lampu GLS. Selain itu hasil dari penelitian ini juga dapat dimanfaatkan sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, masalah yang dibatasi adalah pada data kasus pengamatan di PT. PHILIPS yang telah diteliti oleh Fatima (2012) Jurusan Statistika ITS, dimana yang membedakan adalah metode yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini akan diuraikan beberapa teori maupun kajian pustaka yang mendukung penyelesaian permasalahan dalam penelitian. Ada beberapa hal yang dijelaskan pada bab ini, yaitu Rancangan Percobaan *Central Composite Design*, Metode *Respon Surface*, *Desirability Function*, dan *Particle Swarming Optimization Constriction Factor*.

2.1 Metode *Respon Surface*

Metode *response surface* adalah kombinasi dari teknik matematika dan statistika yang berguna untuk pemodelan dan analisis permasalahan yang responnya dipengaruhi oleh beberapa variabel dan tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respon. Model *response surface* secara umum dinyatakan pada Persamaan (2.1).

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon \quad (2.1)$$

keterangan:

y : variabel respon

x_i : faktor, $i = 1, 2, \dots, k$

ε : Residual dengan asumsi IIDN $(0, \sigma^2)$

Pada banyak permasalahan bentuk hubungan antara variabel respon dan variabel bebasnya tidak diketahui. Dengan demikian, langkah pertama dalam metode *response surface* adalah menemukan pendekatan yang cocok untuk hubungan fungsional yang benar antara variabel respon dan variabel prediktor menggunakan model *response surface* orde satu pada Persamaan (2.2)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.2)$$

Apabila *curvature* atau kelengkungan bermakna, maka analisis perlu dilanjutkan pada model dengan derajat polinomial yang lebih tinggi (Montgomery, 1997).

2.2 Analisis Respon Surface Order Dua

Apabila terdapat kelengkungan pada sistem maka order polinomial dengan derajat yang lebih tinggi harus digunakan seperti model order dua yang dinyatakan sebagai berikut.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.3)$$

Pendekatan order dua pada persamaan dapat dinyatakan dalam matrik sebagai berikut.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \mathbf{x}'\mathbf{b} + \mathbf{x}'\mathbf{B}\mathbf{x} \quad (2.4)$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix}, \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2 & \cdots & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22} & \cdots & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix}$$

Persamaan (2.5) dapat digunakan untuk menentukan lokasi titik stasioner. Titik stasioner digunakan untuk menduga respon yang terdiri dari titik respon maksimum, titik respon minimum, atau *saddle point* dengan persamaan (2.6).

$$\mathbf{x}_s = -\frac{1}{2} \mathbf{B}^{-1}\mathbf{b} \quad (2.5)$$

$$\hat{y}_s = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2} \mathbf{x}_s' \mathbf{b} \quad (2.6)$$

Untuk menentukan apakah respon tersebut maksimum atau minimum maka digunakan *canonical analysis* dengan persamaan (2.7).

$$\hat{y} = \hat{y}_s + \lambda_1 w_1^2 + \lambda_2 w_2^2 + \dots + \lambda_k w_k^2 \quad (2.7)$$

Minimum respon apabila semua λ_i bernilai positif, sedangkan apabila bernilai negatif maka respon maksimum. Namun, apabila λ_i berbeda tanda maka disebut *saddle point*. Apabila terjadi *saddle point* maka dugaan respon optimal yang tercapai dapat menggunakan *ridge analysis* (Montgomery, 1997).

2.3 Central Composite Design

Desain eksperimen yang biasanya digunakan untuk menggunakan *response surface* pada order kedua yaitu *central composite design* (Park, 1996). CCD merupakan rancangan alternatif untuk rancangan faktorial 3^k , yang terdiri dari:

1. Rancangan faktorial 2^k lengkap, dimana level faktor dinotasikan dengan nilai -1 dan +1
2. Titik pusat sebanyak n_0 ($n_0 \geq 1$), dimana level faktor dinotasikan dengan nilai 0. Direkomendasikan 3 hingga 5 titik pusat, lima titik pusat memberikan varians yang lebih rendah dan stabil (Montgomery, 1997).
3. Titik aksial pada axis untuk setiap rancangan variabel pada jarak α . Nilai α sama dengan $2^{k/4}$ dan jumlah titik aksial sebanyak $2k$, k adalah jumlah faktor. Sehingga jumlah titik rancangan didapatkan dengan persamaan (Khuri & Cornell, 1996):

$$N = 2^k + 2k + n_0 \quad (2.8)$$

Pada penelitian ini digunakan rancangan faktorial 2^2 lengkap, titik pusat sebanyak 5 titik, dan titik aksial sebanyak 4 titik. Sehingga didapatkan struktur data pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rancangan Percobaan CCD

X_1	X_2	
-1	-1	} 2^2 faktorial lengkap
-1	1	
1	-1	
1	1	
0	0	} 5 titik pusat
0	0	
0	0	
0	0	
0	0	
$-\alpha$	0	} 4 titik aksial
α	0	
0	α	
0	$-\alpha$	

(Sumber: Khuri & Cornell, 1996)

2.4 Pengujian Parameter Model

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah model yang digunakan sudah sesuai dan faktor-faktor yang digunakan berpengaruh terhadap respon. Pengujiannya terdiri dari, uji *lack of fit*, uji serentak dan uji parsial.

a. Uji Lack Of Fit

Uji *Lack Of Fit* digunakan untuk menguji apakah model yang terbentuk sudah sesuai. Hipotesis yang digunakan dinyatakan sebagai berikut.

H_0 : Tidak ada *lack of fit* (model sesuai)

h_1 : Terdapat *lack of fit* (model tidak sesuai)

Statistik uji untuk *lack of fit* dinyatakan pada persamaan (2.9).

$$F_{\text{hitung}} = \frac{MS_{\text{LOF}}}{MS_{\text{PE}}} \quad (2.9)$$

Keterangan:

MS_{LOF} : Kuadrat rata-rata *lack of fit*

MS_{PE} : Kuadrat rata-rata *pure error*

Tolak H_0 jika $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha, n-p, N-n}$ yang berarti bahwa model yang terbentuk sudah sesuai. Sebagai kemungkinan lain, dapat juga digunakan pendekatan *p-value* untuk menguji hipotesis dimana tolak H_0 jika nilai *p-value* dari F_{hitung} kurang dari α (Montgomery, 1997)

b. Uji Serentak

Uji serentak adalah uji signifikansi model secara keseluruhan untuk mengetahui apakah semua variabel prediktor yang dimasukkan dalam model memberikan pengaruh secara bersama-sama. Hipotesis yang digunakan untuk uji serentak adalah:

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$

H_1 : paling sedikit ada satu $\beta_i \neq 0; i = 1, 2, \dots, k$

Statistik uji yang digunakan adalah uji F dengan persamaan (2.10).

$$F_{\text{hitung}} = \frac{MS_{\text{regresi}}}{MS_{\text{residual}}} \quad (2.10)$$

Keterangan:

MS_{regresi} : Kuadrat rata-rata regresi

MS_{residual} : Kuadrat rata-rata residual

Tolak H_0 jika F_{hitung} melebihi $F_{\alpha, k, n-k-1}$. Sebagai kemungkinan lain, dapat juga digunakan pendekatan *p-value* untuk menguji hipotesis dimana tolak H_0 jika nilai *p-value* dari F_{hitung} kurang dari α (Montgomery, 1997).

MS Regresi dan MS Error didapatkan dari Analisis Ragam (ANOVA) sebagaimana yang ditunjukkan Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Analisis Ragam (ANOVA)

Sumber variasi	Derajat Bebas (df)	Jumlah Kuadrat (SS)	Rataan Kuadrat (MS)	F hitung
Regresi	$m - 1$	$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	$\frac{SS_{\text{regresi}}}{df_{\text{regresi}}}$	$\frac{MS_{\text{regresi}}}{MS_{\text{residual}}}$
Residual	$n - m$	$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$	$\frac{SS_{\text{residual}}}{df_{\text{residual}}}$	
Total (terkoreksi)	$n - 1$	$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	-	

Sumber : (Drapper & Smith, 1992)

c. Uji Parsial

Uji parsial adalah uji signifikansi pada masing-masing variabel prediktor secara individual. Hipotesis yang digunakan untuk uji individu sebagai berikut.

$H_0 : \beta_i = 0; i = 1, 2, \dots, k$

$H_1 : \beta_i \neq 0; i = 1, 2, \dots, k$

Statistik uji yang digunakan adalah statistik uji T yang dinyatakan pada persamaan (2.11).

$$t_{\text{hitung}} = \frac{\hat{\beta}_i}{se(\hat{\beta}_i)} \quad (2.11)$$

Keterangan:

$\hat{\beta}_i$: penaksir parameter ke- i

$se(\hat{\beta}_i)$: standar error penaksir parameter ke- i

Tolak H_0 jika $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2, n-k-1}$ yang berarti masing-masing parameter signifikan terhadap model. Sebagai kemungkinan lain, dapat juga digunakan pendekatan p -value untuk menguji hipotesis dimana tolak H_0 jika nilai p -value dari F_{hitung} kurang dari α (Montgomery, 1997).

2.5 Pengujian Asumsi Residual

Residual adalah selisih antara Y_i dengan \hat{Y}_i dimana Y_i adalah nilai respon amatan, sedangkan \hat{Y}_i adalah nilai dugaan dari persamaan regresi (Drapper & Smith, 1992). Pemeriksaan asumsi residual terdiri dari asumsi identik, independen, dan berdistribusi normal atau disebut dengan IIDN $(0, \sigma^2)$.

a. Uji Identik

Salah satu syarat asumsi residual adalah identik, dimana variansi antar residual harus sama atau tidak terjadi heteroskedastisitas. Tujuan mendeteksi adanya kasus heteroskedastisitas adalah upaya untuk mengurangi kerugian bagi efisiensi estimator. Untuk mendeteksi ada tidaknya korelasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara visual dengan membuat plot antara \hat{y} dengan residual. Apabila terdapat pola maka dapat diindikasikan terjadi heteroskedastisitas dan asumsi identik tidak terpenuhi (Gujarati, 2004). Selain itu dapat dilakukan dengan uji Glejser yang meregresikan harga mutlak residual dengan variabel prediktor (x). Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$$

$$H_1: \text{minimal ada satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, n.$$

Dimana n adalah banyaknya variabel prediktor.

Statistik uji untuk uji Glejser ditunjukkan pada persamaan (2.12).

$$F_{hitung} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (|\hat{e}_i| - |\bar{e}|)^2 \right] / (s-1)}{\left[\sum_{i=1}^n (|e_i| - |\hat{e}_i|)^2 \right] / (n-s)} \quad (2.12)$$

Keterangan:

\hat{e}_i : nilai prediksi hasil regresi residual dengan variabel prediktor

\bar{e} : nilai rata-rata residual yang diuji

e_i : nilai residual yang diuji

s : jumlah parameter regresi

n : jumlah data

Keputusannya adalah tolak H_0 jika nilai F_{hitung} lebih besar dari $F_{tabel}(F_{\alpha;(s-1,n-s)})$. Sebagai kemungkinan lain, dapat juga digunakan pendekatan p -value untuk menguji hipotesis dimana tolak H_0 jika nilai p -value dari F_{hitung} kurang dari α .

b. Uji Independen

Asumsi residual selanjutnya yang harus terpenuhi independen. Uji independen dilakukan untuk memastikan bahwa tidak terdapat korelasi antar residual atau autokorelasi. Pendeteksian autokorelasi dapat dilakukan dengan melihat plot ACF dari residual. Persamaan kovarian antara Z_t dan Z_{t+k} dinyatakan pada persamaan (2.13).

$$\rho_k = \frac{Cov(Z_t, Z_{t+k})}{\sqrt{Var(Z_t)}\sqrt{Var(Z_{t+k})}} = \frac{\delta_k}{\delta_0} \quad (2.13)$$

dimana:

ρ_k = korelasi antara Z_t dan Z_{t+k}

δ_k = kovarian antara Z_t dan Z_{t+k}

$\delta_0 = Var(Z_t) = Var(Z_{t+k})$

Interval konfidensi dengan batas signifikansi atas dan bawah untuk koefisien ACF ditunjukkan pada persamaan (2.14) (Wei, 2006).

$$0 \pm \frac{Z_{\alpha/2}}{\sqrt{n}} \quad (2.14)$$

c. Uji Asumsi Distribusi Normal

Untuk mengetahui apakah residual telah berdistribusi normal dapat dilakukan secara visual dengan *normal probability plot residual*. Selain itu, dapat dilakukan pengujian dengan uji distribusi normal *Kolmogorov-Smirnov*. Hipotesis untuk uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah.

$H_0: F_0(x) = F(x)$ (Residual berdistribusi Normal)

$H_1: F_0(x) \neq F(x)$ (Residual tidak berdistribusi Normal)

Statistik uji yang digunakan adalah

$$D = \max |F_0(x) - S_N(x)| \quad (2.15)$$

dimana,

$F_0(x)$ = fungsi distribusi frekuensi kumulatif

$S_N(x)$ = k/N adalah fungsi peluang kumulatif yang diobservasi dari suatu sampel random dengan N observasi dimana k adalah banyaknya observasi yang sama atau kurang dari x. Daerah penolakan H_0 adalah apabila $|D| > q_{(1-\alpha)}$ dengan nilai $q_{(1-\alpha)}$ didapatkan dari tabel *Kolmogorov-Smirnov* (Daniel, 1989).

2.6 *Desirability Function*

Pendekatan *desirability function* multirespon optimasi adalah teknik yang berguna untuk analisis eksperimen dimana beberapa respon harus dioptimalkan secara bersamaan. Ide dasar pendekatan *desirability function* adalah mengubah masalah *multiresponse* menjadi masalah *single respon* melalui transformasi matematika. Setiap respon dinyatakan pada serangkaian nilai antara 0,0 dan 0,1 yang mengukur respon pada nilai tertentu. Setelah fungsi ini didefinisikan untuk masing-masing respon, fungsi keseluruhan tujuan (*global desirability*) didefinisikan sebagai mean geometris dari *desirability* individu (Castillo, Montgomery, & McCarville, 1996). Nilai individual *desirability* indeks untuk masing-masing respon dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Apabila respon perlu untuk dimaksimumkan maka *desirability* indeks dihitung dengan persamaan (2.16).

$$\left. \begin{aligned} y_i &= 0 & i < S_i \\ y_i &= [(i - S_i) / (H_i - S_i)]^{r_i} & S_i \leq i \leq H_i \\ y_i &= 1 & i > H_i \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Apabila respon perlu untuk diminimalkan maka *desirability* indeks dihitung dengan persamaan (2.17).

$$\left. \begin{aligned} y_i &= 0 & i > H_i \\ y_i &= [(H_i - i) / (H_i - S_i)]^{r_i} & S_i \leq i \leq H_i \\ y_i &= 1 & i < S_i \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

Apabila respon perlu untuk mencapai target tertentu 'Ti' maka *desirability* indeks dihitung dengan persamaan (2.18).

$$\left. \begin{aligned} y_i &= 0 & i < S_i \\ y_i &= [(i - S_i) / (T_i - S_i)]^{r_i} & S_i \leq i \leq T_i \\ y_i &= [(i - H_i) / (T_i - S_i)]^{r_i} & T_i \leq i \leq H_i \\ y_i &= 0 & i > H_i \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

dimana,

i : nilai prediksi dari respon ke- i

r_i : bobot eksponensial

S_i : nilai minimum yang bisa diterima untuk respon ke- i

H_i : nilai maksimum yang bisa diterima untuk respon ke- i

\hat{y}_i : nilai individual *desirability* untuk respon ke- i

individual *desirability* indeks kemudian dikombinasikan untuk memperoleh *global desirability index*, nilai *desirability* total dari keseluruhan respon yang digunakan. Persamaan yang digunakan untuk kombinasi tersebut ditunjukkan pada persamaan (2.19).

$$D = (\hat{y}_1^{w_1} \times \hat{y}_2^{w_2} \times \dots \times \hat{y}_n^{w_n})^{1 / \sum_{j=1}^n w_j} \quad (2.19)$$

keterangan:

D : *global desirability index*

w_j : bobot individual pada respon ke- j

n : banyaknya parameter respon

Karakteristik kualitas yang terbaik didapatkan dengan menentukan optimal dari pengaturan parameter proses dari mesin yang dapat memaksimalkan nilai *global desirability* (Majumder, Das, Majumder, & Debnath, 2014).

Saat menggunakan PSO akan lebih mudah apabila optimasi dilakukan dengan meminimumkan fungsi, sedangkan fungsi *desirability* pada proses optimasi harus dimaksimalkan sehingga perlu adanya persamaan matematis untuk menyatakan fungsi *desirability* kedalam bentuk lain agar dapat diolah menggunakan PSO. Pada penelitiannya, Majumder, Das, Majumder, dan Debnath (2014) menggunakan konsep *fitness function* sehingga fungsi *desirability* dinyatakan dalam dalam fungsi baru, Y sebagai berikut.

$$\hat{y}_1 = \frac{MRR - MRR_{\min}}{MRR_{\max} - MRR_{\min}} \quad (2.20)$$

$$\hat{y}_2 = \frac{EWR_{\max} - EWR}{EWR_{\max} - EWR_{\min}} \quad (2.21)$$

$$D = \frac{1}{(Y_1^{w_1} \times Y_2^{w_2})^{(w_1 + w_2)}} \quad (2.22)$$

$$Y = \frac{1}{1 + D} \quad (2.23)$$

dimana MRR dan EWR adalah variabel respon yang akan dioptimasi, w_1 adalah bobot kepentingan dari MRR, w_2 adalah bobot kepentingan EWR, MRR_{\max} dan EWR_{\max} adalah nilai tertinggi dari respon MRR dan EWR, MRR_{\min} dan EWR_{\min} adalah nilai terendah dari MRR dan EWR, yang didapatkan dari percobaan yang telah dilakukan. Apabila kedua respon memiliki kepentingan yang sama, maka $w_1 = 0,5$ begitu pula untuk w_2 . D

adalah *desirability function* yang digunakan untuk mendapatkan karakteristik kualitas terbaik yaitu dengan menentukan pengaturan optimal dari mesin EDM yang memaksimalkan D atau meminimumkan Y (Majumder, Das, Majumder, & Debnath, 2014).

2.7 Particle Swarming Optimization Constriction Factor (PSO-CF)

PSO adalah algoritma yang efektif digunakan untuk optimasi fungsi dengan *range* yang luas. PSO menggunakan konsep kecocokan sebagai model komputasi evolusioner (Kennedy & Eberhart, 1995). Algoritma diawali dengan menghasilkan populasi acak yang disebut sebagai “*swarm*”. Dimensi *swarm* tergantung pada ukuran masalah. Dalam *swarm*, masing-masing kemungkinan solusi individu direpresentasikan sebagai partikel. Pada setiap iterasi, posisi dan kecepatan partikel diperbaharui tergantung pada individu dan perilaku kolektif (Anwar & Mahmood, 2014). Kawanan atau *swarm* dalam PSO diasumsikan mempunyai ukuran tertentu dengan setiap partikel posisi awalnya terletak disuatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik yaitu posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi terbaiknya kepada partikel lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi tersebut. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung memiliki keterbatasan dalam hal kecerdasan namun biasanya burung akan mengikuti kebiasaan (*rule*) seperti berikut.

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain
2. Burung akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung

3. Burung-burung tersebut akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh.

Pada algoritma PSO ini pencarian solusi dilakukan oleh suatu populasi yang terdiri dari beberapa partikel. Populasi dibangkitkan secara random dengan batasan nilai terkecil dan nilai terbesar. Setiap partikel melakukan pencarian solusi yang optimum dengan melintasi ruang pencarian (*search space*). Hal ini dilakukan dengan cara setiap partikel melakukan penyesuaian terhadap posisi terbaik dari partikel tersebut (*local best*) dan penyesuaian terhadap posisi partikel terbaik dari seluruh kawanan (*global best*) selama melintasi ruang pencarian. Pada setiap iterasi setiap solusi yang direpresentasikan oleh posisi partikel, dievaluasi performansinya dengan cara memasukkan solusi tersebut kedalam *fitness function* (Santosa & Willy, 2011).

Dengan asumsi ruang pencarian mempunyai d dimensi, partikel ke- i pada kelompok dapat diwakili oleh d dimensi vektor posisi $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$. Kecepatan pada partikel dinotasikan dengan $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$. Juga dengan mempertimbangkan posisi terbaik yang dikunjungi partikel dinyatakan sebagai p_{id} dan posisi terbaik yang dijelajahi dinyatakan sebagai g_{id} , aturan pembaruan posisi dan kecepatan partikel dinyatakan dengan persamaan (2.25)

$$v_{id}^{j+1} = v_{id}^j + C_1 \times r_1 \times (p_{id} - x_{id}^j) + C_2 \times r_2 \times (g_{id} - x_{id}^j) \quad (2.24)$$

$$x_{id}^{j+1} = x_{id}^j + v_{id}^{j+1} \quad (2.25)$$

dimana, kognitif parameter $C_1 = 2$, sosial parameter $C_2 = 2$, r_1 dan r_2 dibangkitkan secara random dari distribusi uniform dengan range [0-1], dan $j = 1, 2, \dots$ adalah iterasi (Majumder, Das, Majumder, & Debnath, 2014). Persamaan (2.24) digunakan untuk menghitung kecepatan partikel yang baru berdasarkan kecepatan sebelumnya, jarak antara posisi saat ini dengan posisi terbaik

partikel (*local best*), dan jarak antara posisi saat ini dengan posisi terbaik kawanannya (*global best*). Kemudian partikel menuju posisi baru berdasarkan persamaan (2.25).

Algoritma PSO meliputi langkah berikut.

1. Bangkitkan posisi awal sejumlah partikel sekaligus kecepatan awalnya secara random.
2. Evaluasi *fitness* dari masing-masing partikel berdasarkan posisinya.
3. Tentukan partikel dengan *fitness* terbaik, dan tetapkan *Gbest*. Untuk setiap partikel *Pbest* awal akan sama dengan posisi awal. Ulangi langkah berikut sampai *stopping criteria* terpenuhi.
 - a. Menggunakan *Pbest* dan *Gbest* yang ada, perbarui setiap kecepatan partikel menggunakan persamaan (2.24). Lalu dengan kecepatan yang didapat, perbarui posisi setiap partikel menggunakan persamaan (2.25).
 - b. Evaluasi *fitness* dari setiap partikel.
 - c. Tentukan partikel dengan *fitness* terbaik dan tetapkan sebagai *Gbest*. Untuk setiap partikel tentukan *Pbest* dengan membandingkan posisi sekarang dengan sebelumnya.
 - d. Cek *stopping criteria*. Jika dipenuhi maka iterasi berhenti, jika tidak kembali ke tahap (a) (Santosa & Willy, 2011).

Untuk mencapai keadaan konvergen dan stabilitas yang lebih baik pada optimasi menggunakan PSO maka ditambahkan *constriction factor* (CF) yang telah diperkenalkan oleh Clerc dan Kennedy (2002). Kelebihan dari PSO-CF ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Majumder, Das, Majumder, dan Debnath (2014). Pada penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa kinerja PSO dengan *Constriction-Factor* (PSO-CF) lebih baik daripada PSO-O dan PSO dengan *Inertia Weight* (PSO-IW). PSO-CF mampu menemukan lingkup yang baik dalam optimasi parameter proses EDM. Pada dasarnya, prosedur pencarian pada PSO-CF ditingkatkan dengan menggunakan analisis eigen value dan perilaku sistem yang dapat dikontrol sehingga menjamin terjadinya proses optimasi yang konvergen dan efisien

(Vlachogiannis & Lee, 2006). Untuk mendapatkan optimasi menggunakan PSO dengan constriction factor digunakan persamaan (2.26).

$$v_{id}^{j+1} = k \left\{ v_{id}^j + C_1 \times r_1 \times (p_{id} - x_{id}^j) + C_2 \times r_2 \times (g_{id} - x_{id}^j) \right\} \quad (2.26)$$

$$x_{id}^{j+1} = x_{id}^j + v_{id}^{j+1} \quad (2.27)$$

dimana,

$$k = \frac{2}{\left| 2 - C - \sqrt{C^2 - 4C} \right|}, C = C_1 + C_2 \quad (2.28)$$

Nilai C harus lebih dari 4 untuk menjamin terjadinya proses optimasi yang konvergen dan stabil (Eberhart & Shi, 2000), (Clerc & Kennedy, 2002). Karena apabila nilai C=4 maka nilai $\sqrt{C^2 - 4C}$ akan sama dengan nol sehingga k tidak mampu menjamin terjadinya optimasi yang konvergen dan stabil, begitu pula jika $C < 4$ maka nilai $\sqrt{C^2 - 4C}$ tidak akan didapatkan. Biasanya nilai dari C diatur mulai dari 4,1 sehingga nilai kognitif parameter, $C_1 = 2,05$ dan sosial parameter, $C_2 = 2,05$ (Krohling & Coelho, 2006). Nilai r_1 dan r_2 di-bangkitkan secara random dari distribusi uniform dengan range [0-1], dan $j = 1, 2, \dots$ adalah iterasi.

2.8 Lampu GLS

Lampu GLS tipe A55 adalah salah satu jenis lampu yang digunakan di masyarakat sehingga jumlah produksinya relatif banyak. Setiap tipe lampu di PT. Philips Indonesia memiliki spesifikasi masing-masing. Spesifikasi dari lampu A55 100 W 220 V clear dinyatakan sebagai berikut (Fatima, 2012).

Pool distance : $25 \pm 0,5$

Constant Mounting Length : $29,7 \pm 0,8$

Lumen : 1380 dengan tolerance 93% minimum

Wattage : 100 w dengan tolerance 104%+0,5 maksimum

Lifetime : 1000 h dengan tolerance 700 h minimum

2.9 Lumen

Lumen adalah satuan *flux* cahaya atau *flux* yang dipancarkan didalam satuan unit sudut padatan oleh suatu sumber dengan intensitas cahaya yang seragam satu candela. Satu flux adalah satu lumen per meter persegi. Lumen (lm) adalah kesetaraan fotometrik dari watt, yang memadukan respon mata “pengamat standar”. 1 watt = 683 lumens pada panjang gelombang 555 nm (Fatima, 2012).

2.10 Watt dan Lifetime Lampu

Watt (simbol : W) adalah satuan turunan SI untuk daya. 1 watt didefinisikan sebagai 1 joule dibagi 1 detik (1 J/d), atau dalam satuan listrik, satu volt ampere (1 V A). *Lifetime* lampu adalah umur lampu yang menyatakan sampai berapa jam lampu dinyatakan masih hidup (Fatima, 2012).

(...Halaman Ini Sengaja Dikosongkan...)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai metode dan tahapan-tahapan dalam melakukan analisis untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini. Metode analisis yang digunakan adalah Optimasi desirability function berbasis PSO-CF.

3.1 Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder hasil penelitian dari Fatima (2012) yang penelitiannya dilakukan di PT. Philips Indonesia. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel respon dan variabel prediktor yang dijelaskan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Jenis	Satuan	Karakteristik Respon
Y_1	<i>Lumen</i>	Respon	lm	LTB
Y_2	<i>Wattage</i>	Respon	watt	STB
Y_3	<i>Lifetime</i>	Respon	<i>hours</i>	LTB
X_1	<i>Pool Distance</i>	Prediktor	mm	-
X_2	<i>Constant Mounting Length</i>	Prediktor	mm	-

Pool distance (PD) dan *Constant mounting length* (CML) merupakan dua ukuran yang digunakan untuk mengukur filamen. CML adalah ukuran panjang dari filamen sedangkan PD adalah jarak antar kutub filamen. Kedua hal ini pada perusahaan disebut *critical parameter* yang harus dikontrol kualitasnya secara ketat. Masing-masing faktor memiliki nilai level *range* sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Level Faktor Penelitian

Faktor	Level				
	-1	0	1	-1,41421	1,41421
PD	24	25	26	23,585	26,4142
CML	28.1	29.7	31.3	27,437	31,963

Nilai 24 dan 28,1 diperoleh dari percobaan sebelumnya menggunakan *trial-error* dan didapatkan area yang optimal adalah pada kombinasi level 24 dan 28,1. Sedangkan pada level 0

yang bernilai 25 dan 29,7 didapatkan dari spesifikasi yang sudah ditentukan perusahaan yaitu $25 \pm 0,5$ dan $29,7 \pm 0,8$. Selisih nilai antara level -1 dan level 0 adalah 1 untuk PD dan 1,6 untuk CML. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan nilai dari level atas atau level 1 dengan cara menambahkan 1 untuk PD dan 1,6 untuk CML.

Level -1,41421 dan 1,41421 merupakan nilai titik aksial (α) yang didapatkan dari $2^{k/4}$ yang telah ditunjukkan pada Tabel 2.1. Karena terdapat 2 variabel prediktor maka nilai titik aksial sama dengan $2^{1/2}$ atau 1,41421. Sedangkan untuk variabel respon, *lumen* adalah satuan *flux* cahaya yang dinyatakan dalam lm, dan *wattage* adalah daya dari lampu yang dinyatakan dalam watt. Keduanya diukur menggunakan alat yang bernama *photometry test*. Cara pengukurannya adalah dengan menyalakan lampu selama 30 menit kemudian diukur besarnya *lumen* dan *wattage*. Respon yang ketiga yaitu *lifetime* adalah umur lampu yang menyatakan sampai berapa jam lampu dinyatakan masih hidup yang nilainya dinyatakan dalam *hours* (jam). Cara pengukurannya adalah dengan menyalakan lampu selama kurang lebih 2 minggu untuk mendapatkan lama hidup lampu. Perusahaan menargetkan *lifetime* lampu GLS sebesar 1000 jam, namun dalam pengamatannya di laboratorium tentunya akan tidak efisien baik waktu maupun biaya apabila harus menunggu hingga 1000 jam, maka masa hidup lampu dipercepat menggunakan metode *accelerate lifetime* yang mempercepat *lifetime* lampu dengan meningkatkan nilai tegangannya menggunakan persamaan (3.1).

$$L_{VA} = L_{VD} \left[\frac{V_D}{V_A} \right]^d \quad (3.1)$$

keterangan:

- L_{VA} : *Lifetime* lampu yang dipercepat
- L_{VD} : Target *lifetime* lampu
- V_D : Tegangan lampu
- V_A : Tegangan yang ditingkatkan
- d : nilai eksponensial

Pada percobaan yang dilakukan di PT. Philips untuk mendapatkan *lifetime* lampu dengan target 1000 jam dan tegangan yang dinaikkan hingga 240 Volt, maka waktu yang dibutuhkan untuk eksperimen adalah lampu dinyalakan selama 319,867 jam atau kurang lebih selama dua minggu.

Terdapat nilai batas spesifikasi pada masing-masing respon yang dinyatakan sebagai berikut.

1. *Lumen* merupakan respon dengan karakteristik *higher is better* sehingga semakin tinggi nilai *lumen* dari suatu lampu maka akan semakin baik. PT. PHILIPS mempunyai spesifikasi sendiri terhadap nilai dari *lumen* yaitu 1380 dengan toleransi minimum 93%. Artinya, target dari perusahaan adalah *lumen* mencapai 1380 lm namun batas minimum yang masih dapat ditoleransi adalah 93% dari 1380 yaitu 1283 lm.
2. *Wattage* merupakan respon dengan karakteristik *smaller is better* sehingga semakin kecil nilainya maka kualitas lampu semakin baik. PT. PHILIPS juga telah mempunyai nilai spesifikasi terhadap nilai *wattage* yaitu 100 watt dengan toleransi maksimum $104\%+0,5$. Artinya, target dari perusahaan adalah nilai *wattage* maksimum adalah 100 watt namun batas maksimum yang masih dapat ditoleransi adalah $104\%+0,5$ dari 100 yaitu 104,5 watt.
3. *Lifetime* merupakan respon dengan karakteristik *higher is better* sehingga semakin tinggi nilai *lifetime* maka kualitas lampu dikatakan semakin baik. PT. PHILIPS mempunyai spesifikasi sendiri terhadap nilai dari *lifetime* yaitu 1000 jam dengan toleransi minimum 700 jam. Artinya, target dari perusahaan adalah *lifetime* mencapai 1000 jam namun batas minimum yang masih dapat ditoleransi adalah 700 jam.

3.2 Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen yang telah dilakukan oleh Fatima (2012) ditunjukkan pada Tabel 3.3. Rancangan yang digunakan adalah rancangan *Central Composite Design* (CCD) yang terdiri dari 13 percobaan.

Tabel 3.3 Rancangan Eksperimen

(PD) X_1	(CML) X_2	Y1	Y2	Y3
		Lumen	Wattage	<i>Lifetime</i>
0	0	1400	100.32	851
0	0	1446	101.2	2000
-1.41421	0	1339	99	1190
1	1	1313	99.66	1190
0	1.41421	1296	100.76	1711
0	0	1376	100.1	1190
0	0	1382	100.76	1190
-1	-1	1353	98.78	1190
-1	1	1376	100.76	668
1.41421	0	1371	100.32	851
0	0	1403	100.54	851
1	-1	1423	100.76	495
0	-1.41421	1480	101.42	2000

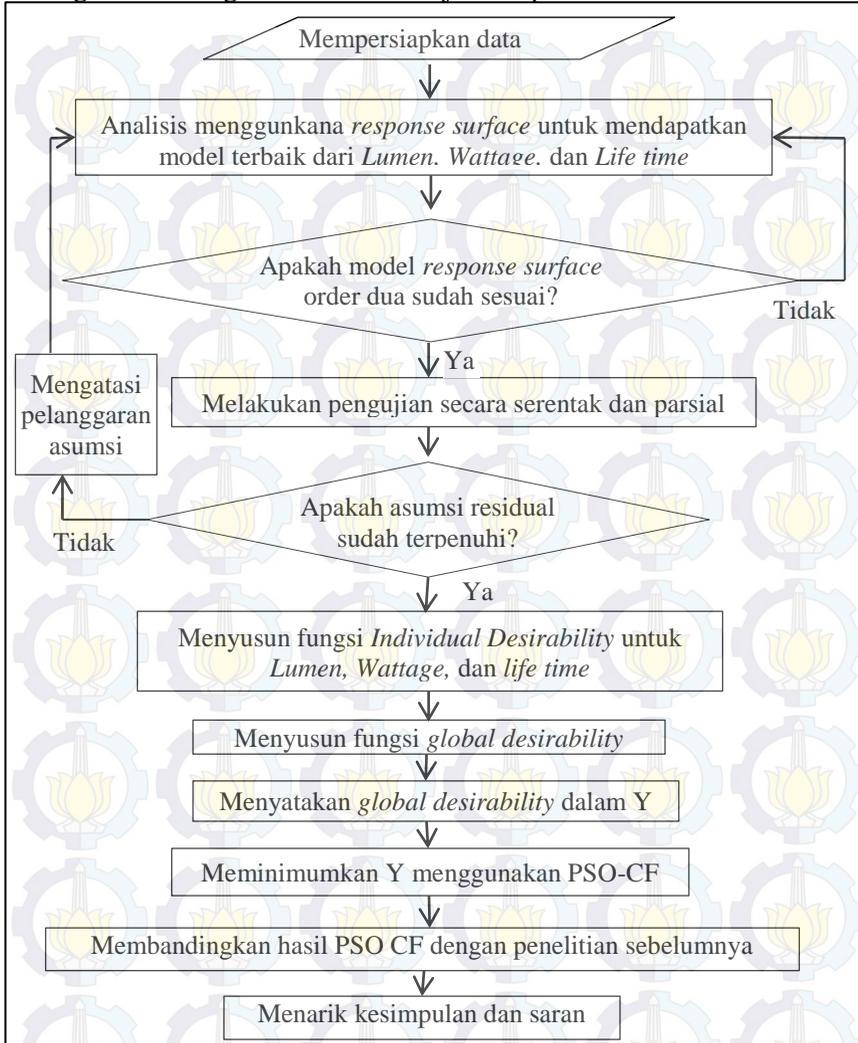
3.3 Langkah-langkah Analisis

Langkah-langkah analisis untuk menjawab tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Mendapatkan model untuk tiap respon dari data yang diteliti menggunakan metode *response surface*. Pemodelan dilakukan satu-persatu pada ketiga variabel respon sehingga model yang terbentuk terdiri dari tiga model yaitu model untuk variabel respon *lumen*, *wattage*, dan *lifetime*. Model tersebut merupakan fungsi dari variabel prediktor PD dan CML.
2. Melakukan uji kesesuaian model yang terbentuk menggunakan uji *lack of fit*. Apabila *lack of fit* tidak bermakna maka model dikatakan sudah sesuai.

3. Menguji kesesuaian model dengan pengujian secara serentak untuk melihat apakah variabel prediktor PD dan CML berpengaruh signifikan secara serentak. Pengujian dilakukan dengan statistik Uji F, apabila hasilnya menyatakan bahwa terdapat minimal satu variabel yang berpengaruh maka dilanjutkan dengan pengujian parsial.
4. Menguji kesesuaian model dengan pengujian secara parsial pada masing-masing variabel prediktor yaitu PD dan CML untuk melihat apakah variabel tersebut berpengaruh signifikan.
5. Melakukan uji terhadap asumsi residual yang meliputi uji residual berdistribusi normal, identik, dan independen.
6. Menyusun fungsi *individual desirability* untuk variabel *Lumen* menggunakan persamaan (2.16).
7. Menyusun fungsi *individual desirability* untuk variabel *Wattage* menggunakan persamaan (2.17).
8. Menyusun fungsi *individual desirability* untuk variabel *Lifetime* menggunakan persamaan (2.16)
9. Menyusun fungsi untuk *global desirability* menggunakan persamaan (2.18) berdasarkan fungsi *individual desirability* dari masing-masing respon.
10. Menyatakan fungsi *global desirability* dalam Y menggunakan persamaan (2.23) untuk memaksimumkan nilai *global desirability*.
11. Meminimumkan fungsi Y dengan menggunakan *Particle Swarming Optimization-Constriction Factor* (PSO-CF).
12. Mendapatkan nilai maksimum dari fungsi *global desirability* melalui persamaan (2.23)
13. Mendapatkan nilai variabel prediktor yang mengoptimumkan *global desirability*
14. Mendapatkan nilai optimum dari masing-masing respon menggunakan model *respon surface* yang telah terbentuk.
15. Membandingkan hasil *global desirability* optimum dengan penelitian sebelumnya oleh Fatima (2012)
16. Menarik kesimpulan dan saran.

Diagram alir langkah analisis ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Langkah-langkah Analisis

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan analisis dan pembahasan terhadap data percobaan pada lampu GLS. Data ini akan diolah dengan metode *response surface* untuk mendapatkan model yang sesuai, kemudian disusun fungsi *global desirability*, dan optimasi fungsi *global desirability* menggunakan PSO-CF.

4.1 Model Orde Dua Variabel Respon

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fatima (2012), dilakukan analisis menggunakan model *response surface* orde satu dan didapatkan hasil bahwa model telah sesuai dan kelengkungan atau *curvature* tidak bermakna. Karena *curvature* tidak bermakna maka analisis dilanjutkan dengan metode *steepest ascent* untuk mendapatkan level faktor yang mengoptimumkan respon. Namun, hasil dari *steepest ascent* tidak memungkinkan untuk diterapkan karena nilai CML yang lebih dari 35 mm, sehingga digunakanlah *trial error* untuk mendapatkan level faktor yang mengoptimumkan respon. Nilai level yang didapatkan pada *trial error* ini kemudian digunakan sebagai level faktor pada rancangan percobaan orde dua *Central Composite Design*. *Central Composite Design* merupakan rancangan untuk *response surface* orde dua sehingga pada analisis untuk mendapatkan model terbaik dari masing-masing respon digunakan model *response surface* orde dua.

4.1.1 Model Orde Dua *Lumen*

Model terbaik variabel respon *lumen* didapatkan melalui analisis menggunakan *response surface*. Sebelum menentukan model terbaik terlebih dahulu dilakukan pengujian model yang meliputi uji *lack of fit*, uji parameter secara serentak, dan uji parameter secara parsial. Setelah didapatkan model terbaik, dilakukan pula pengujian terhadap asumsi residual dari model

respon *lumen*. Pengujian asumsi residual meliputi asumsi identik, independen, dan berdistribusi normal $(0, \sigma^2)$.

Pengujian Model

Pengujian model dilakukan untuk menentukan model terbaik pada respon *lumen*. Pengujian dilakukan melalui uji *lack of fit* untuk melihat apakah orde dua sudah sesuai untuk respon *lumen*, uji parameter secara serentak untuk mengetahui pengaruh variabel prediktor PD dan CML secara bersama, dan uji parameter secara parsial untuk mengetahui pengaruh masing-masing prediktor yang terhadap respon *lumen*. Hasil dari pengujian model ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Analysis of Variance Respon Lumen*

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	5	24177,4	4835,5	4,83	0,031
Linear	2	15411,1	7705,6	7,70	0,017
Square	2	4344,0	2172,0	2,17	0,185
Interaction	1	4422,3	4422,3	4,42	0,074
Residual error	7	7003,7	1000,5		
Lack-of-Fit	3	3988,5	1329,5	1,76	0,293
Pure error	4	3015,2	753,8		
Total	12	31181,1			

Jika ditetapkan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ maka dari hasil pengujian pada Tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa *lack of fit* tidak bermakna, sehingga model orde dua sesuai untuk memodelkan respon *lumen*. Sedangkan untuk pengujian secara serentak dapat dilihat dari *p-value regression*. Karena nilainya kurang dari taraf signifikansi maka dapat disimpulkan bahwa paling sedikit terdapat satu variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *lumen*.

Setelah dilakukan pengujian serentak terhadap pengaruh prediktor, analisis dilanjutkan dengan pengujian parsial atau individual untuk melihat faktor mana yang memberikan pengaruh signifikan. Hasil pengujian parsial ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Uji Parsial Respon *Lumen*

Term	Coef	T	P
Constant	1401,40	99,068	0,000
PD	6,53	0,584	0,578
CML	-43,40	-3,881	0,006
PD*PD	-24,51	-2,044	0,080
CML*CML	-8,01	-0,668	0,525
PD*CML	-33,25	-2,102	0,074

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa variabel PD tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap variabel *lumen*. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh kuadrat dari PD, kuadrat CML, dan juga interaksi antara keduanya. Hasil yang signifikan hanya ditunjukkan oleh variabel CML dengan *p-value* 0,006. Namun, variabel yang tidak signifikan tetap dimasukkan dalam model karena *lack of fit* nya dinyatakan sudah sesuai sehingga model orde dua untuk variabel *lumen* dinyatakan dalam Persamaan (4.1).

$$\hat{y}_1 = 1401,4 + 6,53PD - 43,3CML - 24,51PD^2 - 8,01CML^2 - 33,25PD * CML \quad (4.1)$$

Model orde dua untuk variabel respon *lumen* pada Persamaan (4.1) mampu menjelaskan variasi total dari *lumen* sebesar 68,59%. Model orde dua inilah yang selanjutnya akan disusun sebagai masukan untuk membentuk fungsi *individual desirability*.

Pengujian Asumsi Residual

Setelah didapatkan model orde dua yang sesuai untuk variabel *lumen*, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian asumsi residual yang terdiri dari asumsi identik, independen, dan berdistribusi Normal $(0, \sigma^2)$.

1. Asumsi Identik

Pengujian asumsi identik dilakukan dengan meregresikan absolut e_i dengan masing-masing faktor yang digunakan dalam model respon *lumen*. *Output Computer* hasil pengujian asumsi

identik ditunjukkan pada lampiran 11 dan secara ringkas dinyatakan pada Tabel 4.3.

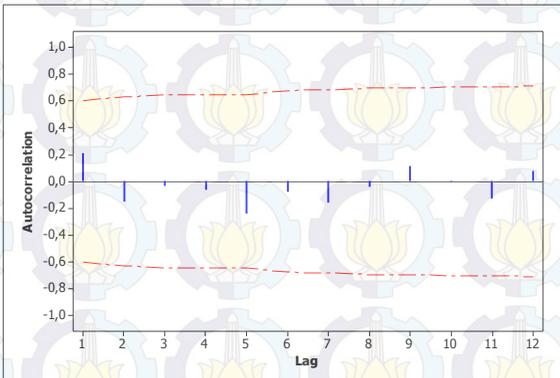
Tabel 4.3 Uji Asumsi Residual Identik Model Respon *Lumen*

Term	Coef	T	P
Constant	18,48	2,9942	0,02
PD	0,9281	0,19021	0,855
CML	-2,2406	-0,4592	0,66
PD*CML	-4,7819	-0,69298	0,511
PD*PD	-5,1186	-0,97823	0,361
CML*CML	6,8103	1,30154	0,234

Jika ditetapkan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ maka berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa *p-value* dari masing-masing faktor lebih dari α , tidak terdapat parameter yang signifikan. Jadi dapat disimpulkan bahwa asumsi residual identik terpenuhi.

2. Asumsi Independen

Pengujian asumsi independen digunakan untuk melihat apakah antara residual pada pengamatan ke- t dan pengamatan ke- $t+k$ saling independen atau tidak terdapat korelasi. Untuk itu dilakukan plot ACF terhadap residual hingga pengamatan ke $t=12$.

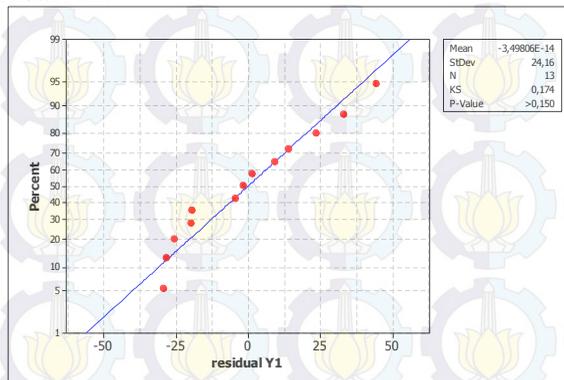


Gambar 4.1 Plot ACF Residual Model Respon *Lumen*

Berdasarkan Gambar 4.1 tidak terdapat lag ACF residual yang melewati batas sehingga dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi independen.

3. Asumsi Distribusi Normal

Pengujian asumsi distribusi normal dilakukan dengan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Untuk melihat apakah residual memenuhi asumsi distribusi normal maka dibuat plot antara residual model orde dua untuk respon *lumen* dengan nilai probabilitas normal. Hasil plot antara residual dan probabilitas normal ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Normality Test Residual Model Respon Lumen

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pola residual mengikuti garis lurus. Selain itu berdasarkan nilai statistik uji *Kolmogorov-Smirnov* pada Persamaan (2.15) didapatkan nilainya sama dengan 0,174. Nilai tersebut kurang dari nilai tabel $q_{(1-\alpha)}$ yang terdapat pada Lampiran 14 yang nilainya sama dengan 0,361 sehingga dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi distribusi normal. Sebagai kemungkinan lain, dapat juga digunakan *p-value* dari uji *Kolmogorov-Smirnov* yang nilainya $>0,15$. Jika digunakan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi distribusi normal.

4.1.2 Model Orde Dua Wattage

Model terbaik dari respon *wattage* didapatkan melalui analisis menggunakan *response surface*. Pengujian dilakukan

untuk mendapatkan model terbaik yang pengujiannya meliputi uji *lack of fit*, uji parameter serentak, dan uji parameter parsial. Kemudian dilakukan pengujian asumsi residual dari model yang terbentuk.

Pengujian Model

Pengujian model dilakukan untuk menentukan model terbaik pada respon *wattage*. Pengujian ini meliputi uji *lack of fit* untuk mengetahui apakah model orde dua sesuai untuk memodelkan respon *wattage*, uji serentak untuk mengetahui pengaruh variabel prediktor PD dan CML terhadap variabel *wattage* secara bersama-sama, dan uji parsial untuk mengetahui variabel mana yang berpengaruh signifikan terhadap respon *wattage*. Hasil pengujian serentak respon *wattage* ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 *Analysis of Variance Respon Wattage*

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	5	5,85595	1,17119	5,3	0,025
Linear	2	0,94344	0,47172	2,14	0,189
Square	2	2,54091	1,27045	5,75	0,033
Interaction	1	2,3716	2,3716	10,74	0,014
Residual error	7	1,54553	0,22079		
Lack-of-Fit	3	0,82921	0,27640	1,54	0,334
Pure error	4	0,71632	0,17908		
Total	12	7,40148			

Jika ditetapkan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ maka dari hasil pengujian pada Tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa *lack of fit* tidak bermakna, sehingga model orde dua sesuai untuk memodelkan respon *wattage*. Sedangkan untuk pengujian secara serentak dapat dilihat dari *p-value regression*. Karena nilainya kurang dari taraf signifikansi maka dapat disimpulkan bahwa paling sedikit terdapat satu variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *wattage*.

Setelah dilakukan pengujian serentak, analisis dilanjutkan dengan pengujian parsial atau individual untuk melihat faktor

mana yang memberikan pengaruh signifikan. Hasil pengujian parsial ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Uji Parsial Respon *Wattage*

Term	Coef	T	P
Constant	100,584	478,657	0,000
PD	0,343	2,067	0,078
CML	-0,007	-0,04	0,969
PD*PD	-0,558	-3,134	0,017
CML*CML	0,157	0,88	0,408
PD*CML	-0,77	-3,277	0,014

Jika ditetapkan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ maka berdasarkan hasil dari Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa variabel yang memberikan pengaruh signifikan terhadap respon *wattage* adalah kuadrat dari PD dan interaksi antara PD dan CML karena *p-value* kurang dari α . Sedangkan variabel yang tidak memberikan pengaruh signifikan dengan *p-value* lebih dari α adalah variabel PD, CML, dan kuadrat dari CML. Namun, variabel yang tidak signifikan tetap dimasukkan dalam model karena berdasarkan uji *lack of fit*, model orde dua dinyatakan sudah sesuai. Sehingga model orde dua untuk variabel *wattage* dinyatakan dalam Persamaan (4.2)

$$\hat{y}_2 = 100,584 + 0,343PD - 0,007CML - 0,558PD^2 + 0,157CML^2 - 0,77PD * CML \quad (4.2)$$

Model orde dua untuk variabel *wattage* yang dinyatakan pada Persamaan (4.2) mampu menjelaskan variasi total dari *wattage* sebesar 83,62%. Model orde dua inilah yang selanjutnya akan digunakan sebagai masukan untuk membentuk fungsi *individual desirability*.

Pengujian Asumsi Residual

Setelah didapatkan model yang sesuai untuk variabel *wattage* langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian asumsi

residual. Asumsi residual yang harus dipenuhi yaitu asumsi identik, independen, dan berdistribusi Normal $(0, \sigma^2)$.

1. Asumsi Identik

Pengujian asumsi identik dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara residual dari model *wattage* yang sudah didapatkan dengan faktor-faktor yang digunakan dalam model. Pengujian dilakukan dengan meregresikan nilai absolut e_i dengan masing-masing faktor. *Output Computer* hasil pengujian asumsi identik ditunjukkan pada lampiran 12 dan secara ringkas dinyatakan pada Tabel 4.6.

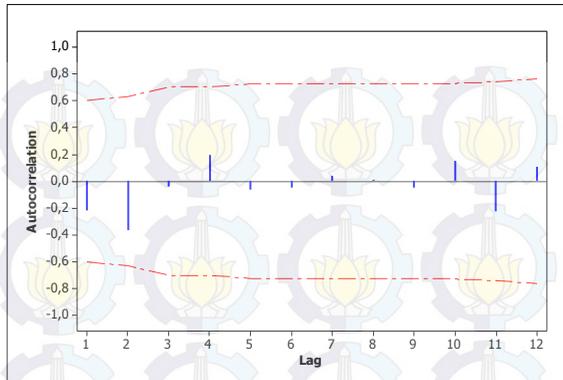
Tabel 4.6 Uji Asumsi Residual Identik Model Respon *Wattage*

Term	Coef	T	P
Constant	0,3168	3,92833	0,006
PD	0,083966	1,317	0,229
CML	-0,14202	-2,22751	0,061
PD*CML	-0,07876	-0,87351	0,411
PD*PD	-0,05847	-0,85517	0,421
CML*CML	0,005564	0,08137	0,937

Jika ditetapkan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ maka berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa *p-value* dari masing-masing faktor lebih dari α . Jadi dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara masing-masing variabel yang digunakan pada model *wattage* dengan absolut e_i sehingga asumsi residual identik terpenuhi.

2. Asumsi Independen

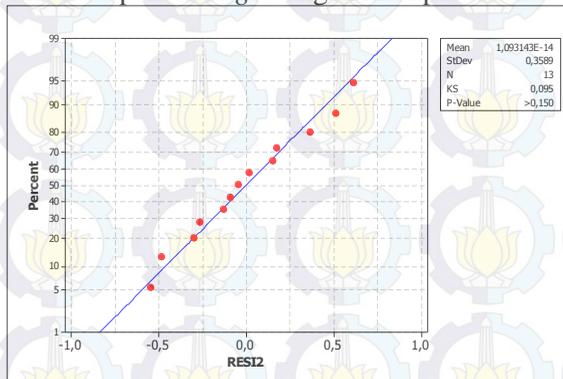
Pengujian asumsi independen digunakan untuk melihat apakah antara residual pada pengamatan ke- t dan pengamatan ke- $t+k$ saling independen atau tidak terdapat korelasi. Untuk itu dilakukan plot ACF terhadap residual hingga pengamatan ke $t=12$. Hasil plot ACF dapat dilihat pada Gambar 4.3. Berdasarkan Gambar 4.3 tidak terdapat lag ACF residual yang melewati batas sehingga dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi independen.



Gambar 4.3 ACF Residual Model Respon *Wattage*

3. Asumsi Distribusi Normal

Pengujian asumsi distribusi normal dilakukan dengan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Untuk melihat apakah residual memenuhi asumsi distribusi normal maka dibuat plot antara residual model orde dua untuk respon *wattage* dengan nilai probabilitas normal.



Gambar 4.4 Normality Test Residual Model Respon *Wattage*

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pola residual mengikuti garis lurus. Selain itu berdasarkan nilai statistik uji *Kolmogorov-Smirnov* pada Persamaan (2.15) didapatkan nilainya sama dengan 0,095. Nilai tersebut kurang dari nilai tabel $q_{(1-\alpha)}$ yang terdapat pada Lampiran 14 yang nilainya sama dengan 0,361 sehingga dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi

asumsi distribusi normal. Sebagai kemungkinan lain, dapat juga digunakan *p-value* dari uji *Kolmogorov-Smirnov* yang nilainya $>0,15$. Jika digunakan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi distribusi normal.

4.1.3 Model Orde Dua *Lifetime*

Model terbaik untuk variabel respon *lifetime* didapatkan melalui analisis menggunakan *response surface*. Model terbaik didapatkan dengan pengujian *lack of fit*, pengujian parameter secara serentak dan pengujian parameter secara parsial. Setelah didapatkan model dilanjutkan dengan pengujian terhadap asumsi residual dari model *lifetime* yang terbentuk.

Pengujian Model

Pengujian model dilakukan untuk menentukan model terbaik pada respon *lifetime*. Pengujian ini meliputi uji *lack of fit* untuk mengetahui apakah model orde dua sesuai, uji serentak untuk mengetahui pengaruh variabel prediktor terhadap variabel *lifetime* secara bersama-sama, dan uji parsial untuk mengetahui variabel mana yang berpengaruh signifikan terhadap respon *lifetime*.

Tabel 4.7 *Analysis of Variance* Respon *Lifetime*

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1136796	227359	1,03	0,468
Linear	2	60151	30075	0,14	0,875
Square	2	706373	353186	1,60	0,268
Interaction	1	370272	370272	1,68	0,237
Residual error	7	1546452	220922		
Lack-of-Fit	3	663995	221332	1,00	0,478
Pure error	4	882457	220614		
Total	12	2683248			

Jika ditetapkan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ maka dari hasil pengujian pada Tabel 4.7 dapat disimpulkan bahwa *lack of fit* tidak bermakna, sehingga model orde dua sesuai untuk memodel-

kan respon *lifetime*. Sedangkan untuk pengujian secara serentak dapat dilihat dari *p-value regression*. Karena nilainya sama dengan 0,468 atau lebih dari taraf signifikansi α sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat terdapat variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *lifetime*. Hasil pengujian parsial terhadap respon *lifetime* ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Uji Parsial Respon *Lifetime*

Term	Coef	T	P
Constant	1216,40	5,787	0,001
PD	-81,55	-0,491	0,639
CML	-29,46	-0,177	0,864
PD*PD	-236,01	-1,324	0,227
CML*CML	181,49	1,018	0,342
PD*CML	304,25	1,295	0,237

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa tidak terdapat variabel yang signifikan terhadap respon *lifetime*. Namun, variabel yang tidak signifikan tetap dimasukkan dalam model karena *lack of fit* nya dinyatakan sudah sesuai. Sehingga model orde dua untuk variabel *lifetime* dinyatakan dalam Persamaan (4.3)

$$\hat{y}_3 = 1216,4 - 81,55PD - 29,46CML - 236,01PD^2 + 181,49CML^2 + 304,25PD * CML \quad (4.3)$$

Model orde dua dari respon *lifetime* pada Persamaan (4.3) mampu menjelaskan variasi total dari *lifetime* sebesar 60,38%. Model orde dua inilah yang selanjutnya akan digunakan sebagai masukan dalam menyusun fungsi *individual desirability*.

Pengujian Asumsi Residual

Setelah didapatkan model yang sesuai untuk variabel *lifetime* langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian asumsi residual yang terdiri dari asumsi identik, independen, dan IIDN $(0, \sigma^2)$.

1. Asumsi Identik

Pengujian asumsi identik dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara residual dari model *lifetime* yang sudah didapatkan dengan faktor-faktor yang digunakan dalam model. Pengujian dilakukan dengan meregresikan nilai absolut e_i dengan masing-masing factor. *Output Computer* hasil pengujian asumsi identik ditunjukkan pada lampiran 13 dan secara ringkas dinyatakan pada Tabel 4.9.

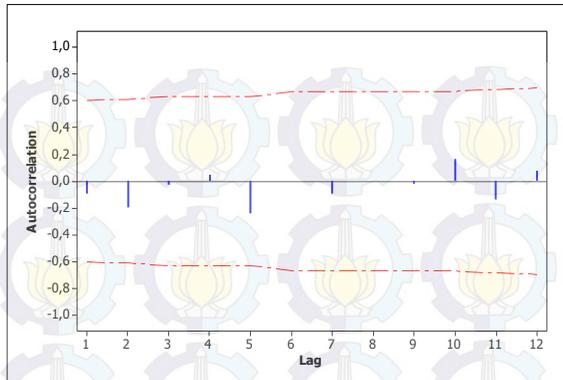
Tabel 4.9 Uji Asumsi Residual Identik Model Respon *Lifetime*

Term	Coef	T	P
Constant	313,44	2,96463	0,021
PD	-38,302	-0,45825	0,661
CML	-72,713	-0,86994	0,413
PD*CML	0	0	1
PD*PD	-18,657	-0,20815	0,841
CML*CML	-18,658	-0,20815	0,841

Jika ditetapkan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ maka berdasarkan Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa *p-value* dari masing-masing faktor lebih dari α . Karena *p-value* lebih dari α maka tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara masing-masing variabel yang digunakan pada model *lifetime* dengan absolut e_i . Sehingga asumsi dapat disimpulkan bahwa asumsi residual identik terpenuhi.

2. Asumsi Independen

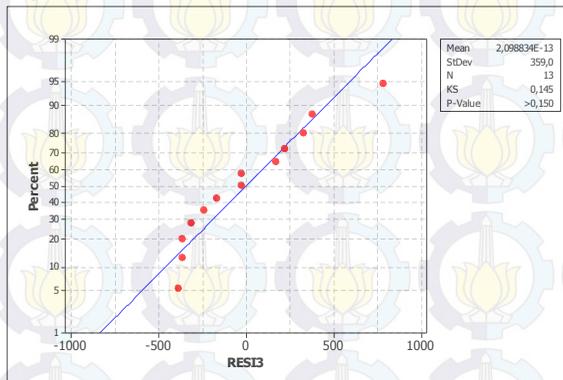
Pengujian asumsi independen digunakan untuk melihat apakah antara residual pada pengamatan ke- t dan pengamatan ke- $t+k$ saling independen atau tidak terdapat korelasi. Untuk itu dilakukan plot ACF terhadap residual hingga pengamatan ke $t=12$. hasil pengujian asumsi residual independen ditunjukkan pada Gambar 4.5. Pada Gambar 4.5 tidak terdapat lag ACF residual yang melewati batas sehingga dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi independen.



Gambar 4.5 ACF Residual Model Respon *Lifetime*

3. Asumsi Distribusi Normal

Pengujian asumsi distribusi normal dilakukan dengan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Untuk melihat apakah residual memenuhi asumsi distribusi normal maka dilakukan dengan membuat plot antara residual model orde dua untuk respon *lifetime* dengan nilai probabilitas normal. Hasil plot antara residual model orde dua *lifetime* dengan nilai probabilitas normal ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Normality Test Residual Model *Lifetime*

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pola residual mengikuti garis lurus. Selain itu berdasarkan nilai statistik uji *Kolmogorov-Smirnov* pada Persamaan (2.15) didapatkan nilainya

sama dengan 0,145. Nilai tersebut kurang dari nilai tabel $q_{(1-\alpha)}$ yang terdapat pada Lampiran 14 yang nilainya sama dengan 0,361 sehingga dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi distribusi normal. Sebagai kemungkinan lain, dapat juga digunakan p -value dari uji *Kolmogorov-Smirnov* yang nilainya $>0,15$. Jika digunakan taraf signifikansi $\alpha=5\%$ dapat disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi distribusi normal.

4.2 *Desirability Function*

Analisis *desirability* diawali dengan menyusun fungsi *individual desirability* pada masing-masing variabel respon *lumen*, *wattage*, dan *lifetime*. Fungsi *individual desirability* ini kemudian dinyatakan dalam fungsi *global desirability* yang nilainya dimaksimumkan sehingga didapatkan kombinasi level faktor PD dan CML yang optimum secara serentak.

4.2.1 *Fungsi Individual Desirability*

Analisis menggunakan *desirability function* diawali dengan menyusun *individual desirability* dari masing-masing variabel respon *lumen*, *wattage*, dan *lifetime*. *Individual desirability* disusun berdasarkan model orde dua dari masing-masing respon yang sudah didapatkan melalui analisis menggunakan *respon surface*, dan nilai spesifikasi yang diinginkan untuk masing-masing respon.

Fungsi Individual Desirability Variabel Lumen

Setiap respon dapat memiliki fungsi *individual desirability* yang berbeda-beda tergantung dari tujuan optimasinya. Karena tujuan optimasi dari variabel respon *lumen* adalah *higher the better* maka *individual desirability* untuk variabel *lumen* dibentuk berdasarkan Persamaan (2.16). Sehingga fungsi *individual desirability lumen* dinyatakan pada Persamaan (4.4).

$$\left. \begin{aligned} \hat{y}_1 &= 0 & i < 1283,4 \\ \hat{y}_1 &= [(i - 1283,4) / (1380 - 1283,4)]^{r_i} & 1283,4 \leq i \leq 1380 \\ \hat{y}_1 &= 1 & i > 1380 \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

\hat{y}_1 merupakan individual *desirability* untuk variabel *lumen*, i adalah nilai taksiran *lumen* optimum, dan r_i adalah bobot eksponensial yang nilainya sama dengan satu. Taksiran *lumen* optimum atau i pada Persamaan (4.4) adalah model terbaik dari variabel respon *lumen* pada Persamaan (4.1) yang telah didapatkan pada analisis *response surface*. *Desirability* untuk *lumen* akan memiliki nilai antara nol sampai satu jika nilai prediksi respon optimumnya antara 1283,4 sampai 1380. Sehingga untuk nilai *lumen* antara 1283,4 sampai 1380 fungsi *desirability* dapat dinyatakan pada Persamaan (4.5)

$$\hat{y}_1 = \frac{\text{Lumen} - \text{Lumen}_{\min}}{\text{Lumen}_{\max} - \text{Lumen}_{\min}} \quad (4.5)$$

Dengan memasukkan model terbaik variabel *lumen* Persamaan (4.1) pada variabel *Lumen*, nilai spesifikasi minimum dari perusahaan sebagai lumen_{\min} dan nilai spesifikasi maksimum dari perusahaan sebagai lumen_{\max} pada Persamaan (4.5), maka didapatkan fungsi individual *desirability* pada Persamaan (4.6).

$$\hat{y}_1 = \frac{1401,4 + 6,53PD - 43,3CML - 1283,4}{196,6} + \frac{-24,51PD^2 - 8,01CML^2 - 33,25PD * CML - 1283,4}{196,6} \quad (4.6)$$

Persamaan (4.6) adalah fungsi *individual desirability* dari variabel respon *lumen*. Fungsi individual ini kemudian akan digunakan untuk membentuk fungsi *global desirability* pada analisis selanjutnya.

Fungsi Individual Desirability Variabel Wattage

Berbeda dengan variabel *lumen*, tujuan optimasi dari variabel *wattage* adalah *smaller the better*. Karena tujuan

optimasi dari respon *wattage* adalah *smaller the better* maka *individual desirability* untuk variabel *wattage* dibentuk berdasarkan Persamaan (2.17) yang dinyatakan pada Persamaan (4.7).

$$\left. \begin{array}{l} \hat{y}_2 = 0 \quad i > 104,5 \\ \hat{y}_2 = [(104,5 - i) / (104,5 - 100)]^{r_i} \quad 100 \leq i \leq 104,5 \\ \hat{y}_2 = 1 \quad i < 100 \end{array} \right\} \quad (4.7)$$

dimana \hat{y}_2 merupakan *individual desirability* untuk variabel *wattage*, i adalah nilai taksiran *wattage* optimum, dan r_i adalah bobot eksponensial yang nilainya sama dengan satu. Taksiran *wattage* optimum atau i pada Persamaan (4.7) adalah persamaan untuk respon *wattage* yang telah didapatkan pada analisis menggunakan *respon surface* yang ditunjukkan pada Persamaan (4.2). *Desirability* untuk *wattage* akan memiliki nilai antara nol sampai satu jika nilai prediksi respon optimumnya antara 100 sampai 104,5 sehingga didapatkan fungsi *individual desirability* untuk variabel *wattage* pada Persamaan (4.8).

$$\hat{y}_2 = \frac{\text{Wattage}_{\max} - \text{Wattage}}{\text{Wattage}_{\max} - \text{Wattage}_{\min}} \quad (4.8)$$

Dengan memasukkan model terbaik variabel *wattage* Persamaan (4.2) pada variabel *Wattage*, nilai minimum yang diinginkan perusahaan sebagai Wattage_{\min} dan nilai maksimum *wattage* yang diinginkan perusahaan sebagai Wattage_{\max} pada Persamaan (4.8), maka didapatkan fungsi *individual desirability* pada Persamaan (4.9).

$$\hat{y}_2 = \frac{104,5 - (100,584 + 0,343PD - 0,007CML)}{4,5} + \quad (4.9)$$

$$\frac{104,5 - (-0,558PD^2 + 0,157CML^2)}{4,5} + \frac{104,5 - (-0,77PD * CML)}{4,5}$$

Persamaan (4.9) adalah fungsi *individual desirability* dari variabel respon *wattage*. Fungsi individual ini kemudian akan

digunakan untuk membentuk fungsi *global desirability* pada analisis selanjutnya

Fungsi Individual Desirability Variabel Lifetime

Sama dengan variabel *lumen*, tujuan optimasi dari variabel *lifetime* adalah apabila semakin besar nilainya maka semakin baik atau *higher the better*. Karena tujuan optimasi dari respon *lifetime* adalah *higher the better* maka *individual desirability* untuk variabel *lifetime* dibentuk berdasarkan Persamaan (2.16) yang dinyatakan pada Persamaan (4.10).

$$\left. \begin{aligned} \hat{y}_3 &= 0 & i < 700 \\ \hat{y}_3 &= [(i - 700) / (1000 - 700)]^{r_i} & 700 \leq i \leq 1000 \\ \hat{y}_3 &= 1 & i > 1000 \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

dimana \hat{y}_3 merupakan *individual desirability* untuk variabel *lifetime*, i adalah nilai taksiran *lifetime* optimum, dan r_i adalah bobot eksponensial yang nilainya sama dengan satu. Taksiran *lifetime* optimum atau i pada Persamaan (4.10) adalah persamaan untuk respon *lifetime* yang telah didapatkan pada analisis menggunakan *respon surface* yaitu Persamaan (4.3). *Desirability* untuk *lifetime* akan memiliki nilai antara nol sampai satu jika nilai prediksi respon optimumnya antara 700 dan 1000 sehingga didapatkan fungsi *individual desirability* yang dinyatakan pada Persamaan (4.11).

$$\hat{y}_3 = \frac{\text{Lifetime} - \text{Lifetime}_{\min}}{\text{Lifetime}_{\max} - \text{Lifetime}_{\min}} \quad (4.11)$$

Dengan memasukkan model terbaik variabel *lifetime* Persamaan (4.3) pada variabel *Lifetime*, nilai maksimum yang diinginkan perusahaan sebagai Lifetime_{\max} dan nilai minimum *lifetime* yang diinginkan perusahaan sebagai Lifetime_{\min} pada Persamaan (4.11), maka didapatkan fungsi *individual desirability* pada Persamaan (4.12).

$$\hat{y}_3 = \frac{1216,4 - 81,55PD - 29,46CML - 700}{300} + \frac{-236,01PD^2 + 181,49CML^2 - 700}{300} + \frac{304,25PD * CML - 700}{300} \quad (4.12)$$

Persamaan (4.12) adalah fungsi *individual desirability* dari variabel respon *lifetime*. Fungsi *individual* ini kemudian akan digunakan untuk membentuk fungsi *global desirability* pada analisis selanjutnya

4.2.2 Fungsi *Global Desirability*

Setelah didapatkan fungsi *individual desirability* dari masing-masing variabel respon maka ketiga fungsi tersebut selanjutnya dinyatakan dalam fungsi *global desirability* berdasarkan Persamaan (2.19). Sehingga fungsi *global desirability* pada penelitian dinyatakan pada Persamaan (4.13).

$$D = (Y_1^{w_1} \times Y_2^{w_2} \times Y_3^{w_3})^{\frac{1}{(w_1 + w_2 + w_3)}} \quad (4.13)$$

Y_1 adalah fungsi *individual desirability* dari *lumen* yang didapatkan dari Persamaan (4.6), Y_2 adalah fungsi *individual desirability* dari *wattage* yang didapatkan dari Persamaan (4.9), dan Y_3 adalah fungsi *individual desirability* dari *lifetime* yang didapatkan dari Persamaan (4.12). Karena tidak terdapat kepentingan yang berbeda antara ketiga variabel respon maka bobot dari ketiga variabel adalah sama. Persamaan (4.13) selanjutnya ditambahkan nilai bobot dari masing-masing respon dan dinyatakan pada Persamaan (4.14).

$$D = (Y_1^{0,33} \times Y_2^{0,33} \times Y_3^{0,33})^1 \quad (4.14)$$

D adalah fungsi *global desirability*, untuk mendapatkan kombinasi level faktor PD dan CML yang optimum maka Persamaan (4.14) dimaksimumkan nilainya. Fungsi *global desirability* dimaksimumkan dengan cara menyatakan D dalam persamaan baru yaitu. Fungsi dari Y dinyatakan pada Persamaan (4.15).

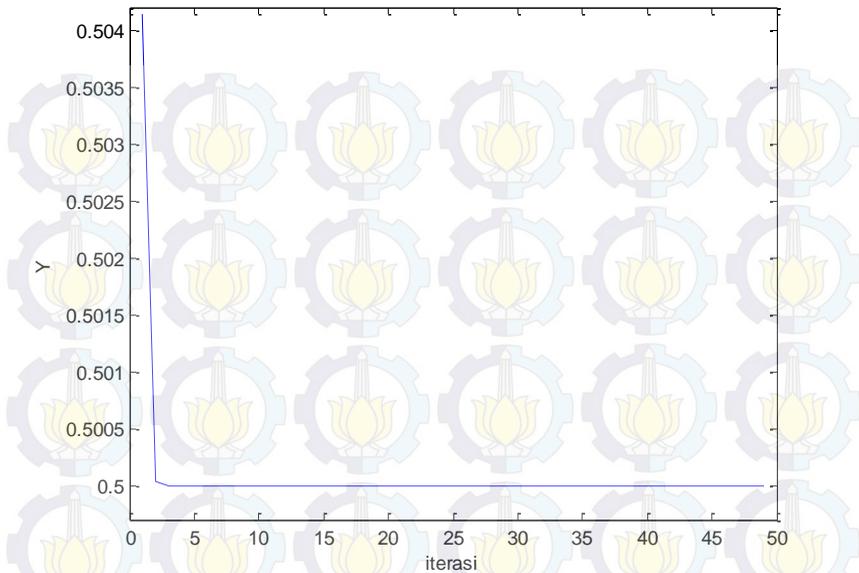
$$Y = \frac{1}{1+D} \quad (4.15)$$

Setelah fungsi *global desirability* pada Persamaan (4.14) dinyatakan kedalam Y pada Persamaan (4.15), nilai maksimum D akan didapatkan dengan meminimumkan Y . Karena nilai maksimum D sama dengan 1, maka nilai minimum dari Y adalah 0,5 dan nilai maksimum dari Y sama dengan 1.

4.3 *Particle Swarming Optimization Constriction Factor (PSO-CF)*

Fungsi *desirability* yang telah didapatkan pada analisis sebelumnya kemudian dimaksimumkan nilainya menggunakan *Particle Swarming Optimization Constriction Factor (PSO-CF)*. Pada penelitian ini digunakan partikel awal sebanyak 20 partikel dengan parameter sosial (C_1) sama dengan parameter kognitif (C_2) yaitu 2,05. Setelah dilakukan iterasi sebanyak 50 kali iterasi didapatkan nilai Y minimum sama dengan 0,5 atau apabila dinyatakan dalam nilai *desirability* maka *desirability* sama dengan 1. Nilai tersebut dicapai pada kombinasi nilai level faktor faktor optimum sama dengan -0,9132 atau 24,0868 mm untuk *Pool Distance* dan -0,8176 atau 28,3918 mm untuk *Constant Mounting Length*. Nilai respon yang dicapai pada kondisi optimum tersebut yaitu, 1380,2 lm untuk *lumen*, 99,3412 watt untuk *wattage*, dan 1466,6 hours untuk *lifetime*. Hasil nilai minimum yang dicapai pada tiap iterasi ditampilkan pada Gambar 4.7.

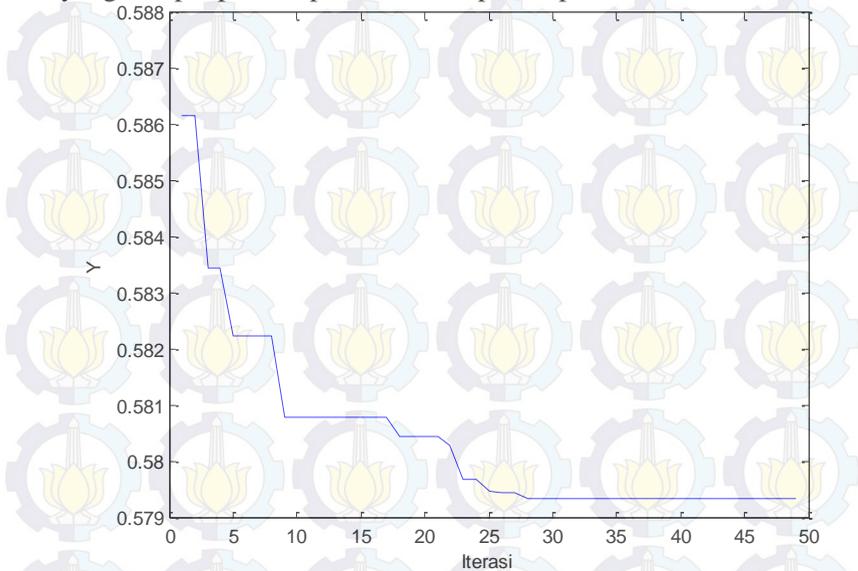
Hasil dari nilai minimum Y tiap iterasi pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada iterasi pertama didapatkan nilai minimum (P_{best}) sama dengan 0,504. Pada iterasi kedua dan selanjutnya sudah didapatkan nilai minimum G_{best} yang konvergen yaitu 0,5. Nilai minimum fungsi dapat dicapai pada iterasi kedua dikarenakan fungsi *desirability* dengan batas sesuai spesifikasi perusahaan memungkinkan PSO mencapai nilai minimumnya dengan mudah. Artinya fungsi tersebut dapat dengan mudah mencapai nilai minimumnya pada berbagai kemungkinan nilai prediktor.



Gambar 4.7 Nilai Minimum Fungsi tiap Iterasi pada Spesifikasi Perusahaan

Karena saat menggunakan batas spesifikasi dari perusahaan nilai minimum akan tercapai dengan mudah namun tidak memiliki nilai prediktor yang konsisten, maka disini digunakan batas spesifikasi sesuai percobaan yang dilakukan yaitu dengan menggunakan nilai maksimum dan minimum dari percobaan yang dilakukan sebagai batas spesifikasi. Sehingga digunakan batas dari percobaan yaitu antara 1296 sampai 1480 untuk *lumen*, 98,78 sampai 101,42 untuk *wattage*, dan antara 495 sampai 2000 untuk *lifetime*. Setelah dilakukan analisis menggunakan PSO-CF dengan jumlah partikel sama dengan 20, parameter sosial (C_1) sama dengan parameter kognitif (C_2) yaitu 2,05, maka didapatkan nilai Y minimum sama dengan 0,5793. Sehingga apabila dinyatakan dalam nilai *global desirability* maka nilainya sama dengan 0,726221. Nilai tersebut dicapai pada kombinasi level faktor PD sama dengan -0,8422 atau 24,1578 mm dan CML sama dengan -1,5541 atau 27,2134 mm. Nilai masing-masing respon yang dapat dicapai yaitu 1382,2 lm untuk *lumen*, 99,2631 watt untuk

wattage, dan 2000,35 hours untuk *lifetime*. Hasil nilai minimum yang dicapai pada tiap iterasi ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Nilai Minimum Fungsi tiap Iterasi Berdasarkan Nilai Percobaan Berdasarkan Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa nilai minimum fungsi sudah konvergen pada iterasi ke 27. Nilai optimum kombinasi level faktor PD dan CML yang dicapai pada iterasi tersebut sudah konsisten.

Metode sebelumnya yang telah dilakukan oleh Fatima (2012), memaksimalkan nilai *global desirability* menggunakan Minitab 14. Pendekatan yang digunakan pada Minitab 14 untuk memaksimalkan *global desirability* adalah pendekatan *Reduce Gradient*. Untuk mengetahui apakah metode optimasi fungsi *desirability* menggunakan metode PSO-CF ini lebih baik dari metode sebelumnya yang sudah dilakukan oleh Fatima (2012), berikut disajikan perbandingan keduanya pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan PSO-CF dan *Reduce Gradient*

Spesifikasi	X optimum		Y optimum			Global <i>Desirability</i>
	PD	CML	<i>Lumen</i>	<i>Wattage</i>	<i>Lifetime</i>	
<i>Reduce Gradient</i>						
Perusahaan*	-0,9	-0,75	1381,2	99,39	1428,18	1
Percobaan	-0,9	-1,4142	1378,7	99,165	1890,51	0,70865
PSO-CF						
Perusahaan	-0,9132	-0,8176	1380,2	99,34	1446,6	1
Percobaan	-0,8422	-1,5541	1382,2	99,2631	2000,35	0,726221

*Hasil penelitian Fatima (2012)

Spesifikasi berdasarkan nilai percobaan pada Tabel 4.10 didapatkan dengan mengganti nilai S_i dan H_i variabel *lumen* pada Persamaan (4.4) menjadi $S_i=1296$ dan $H_i=1480$, variabel *wattage* pada Persamaan (4.7) dengan $H_i=101,42$ dan $S_i=98,78$, begitu pula variabel *lifetime* pada Persamaan (4.10) dengan $H_i=2000$ dan $S_i=495$ kemudian ketiganya disusun dalam global *desirability* dan dioptimumkan menggunakan PSO-CF. Sehingga didapatkan hasil pada Tabel 4.10 bahwa nilai *global desirability* pada optimasi dengan menggunakan nilai minimum dan maksimum percobaan, didapatkan hasil *global desirability* sama dengan 0,70865 untuk metode sebelumnya. Setelah dilakukan optimasi menggunakan PSO-CF didapatkan nilai *global desirability* sama dengan 0,726221 sehingga ada peningkatan sebesar 1,76%. Selain itu pada kondisi optimum, dengan menggunakan PSO-CF nilai *lumen* yang karakteristiknya adalah *larger the better* dapat mencapai 1380,2 lm sedangkan metode sebelumnya hanya 1381,2 lm. Nilai *lifetime* dengan menggunakan PSO-CF dapat mencapai 2000,35 *hours* sedangkan metode sebelumnya hanya mampu mencapai 1890,51 *hours*. Namun, untuk nilai *wattage* yang tujuan optimasinya adalah *smaller the better*, metode sebelumnya memberikan hasil yang lebih baik.

Untuk nilai *global desirability* menggunakan batas spesifikasi yang ditentukan perusahaan, nilai *global desirability* antara PSO-CF dan metode sebelumnya sama dengan 1. Hal ini dikarenakan nilai maksimum dari *global desirability* adalah 1 sehingga tidak memungkinkan adanya peningkatan nilai *global desirability*. Namun apabila dilihat dari nilai masing-masing respon yang dapat tercapai, PSO CF mampu memberikan nilai yang lebih baik daripada metode sebelumnya. Nilai *lifetime* pada PSO-CF mencapai 1446,46 *hours* sedangkan metode sebelumnya hanya 1428,18 *hours*. Begitu pula nilai *wattage* pada metode sebelumnya mencapai 99,39 watt, pada PSO-CF mampu meminimumkan *wattage* hingga 99,34 watt. Namun untuk respon *lumen*, nilai metode sebelumnya dapat memaksimumkan *lumen* hingga 1381,2 lm sedangkan PSO-CF 1380,2 namun nilai tersebut tetap dikatakan tinggi karena berada diatas spesifikasi maksimum perusahaan yaitu 1380 lm.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab IV serta saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya menjadi lebih baik.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada respon *lumen* variabel yang signifikan adalah CML dengan koefisien -43,3 sehingga semakin panjang CML maka semakin rendah nilai *lumen*. Pada respon *wattage* variabel yang signifikan adalah kuadrat PD dan interaksi antara PD dan CML, sehingga nilai *wattage* akan minimum pada nilai PD tertentu dan kombinasi PD dan CML pada nilai tertentu. Sedangkan pada *lifetime* tidak terdapat variabel yang memberikan pengaruh signifikan. Model *lumen*, *wattage*, dan *lifetime* masing-masing mampu menjelaskan 68,59%, 83,62%, dan 60,38% dari total variansi.
2. Nilai *global desirability* dengan batas spesifikasi perusahaan sama dengan 1 dengan PD 24,0868 mm dan CML 28,3918 mm. Nilai respon yang dicapai yaitu, 1380,2 lm untuk *lumen*, 99,3412 watt untuk *wattage*, dan 1466,6 hours untuk *lifetime*. Sedangkan apabila digunakan batas spesifikasi dari percobaan yang dilakukan didapatkan *global desirability* sama dengan 0,726221 dengan PD 24,1578 mm dan CML 27,2134 mm. Nilai respon yang dicapai yaitu 1382,2 lm untuk *lumen*, 99,2631 watt untuk *wattage*, dan 2000,35 hours untuk *lifetime*.
3. Apabila dibandingkan dengan hasil optimasi menggunakan *Reduce Gradient*, PSO-CF dengan spesifikasi berdasarkan nilai percobaan mampu meningkatkan *desirability* sebesar 1,76%. Apabila menggunakan batas spesifikasi dari perusahaan, PSO-CF memberikan hasil yang lebih baik yaitu,

nilai *lifetime* pada PSO-CF mencapai 1446,46 *hours*, dan meminimumkan *wattage* hingga 99,34 watt.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut.

1. Nilai batas spesifikasi yang terlalu rendah akan memungkinkan *desirability* mencapai nilai 1 pada banyak kemungkinan level prediktor sehingga perlu untuk memperhatikan hasil dari eksperimen yang telah dilakukan dalam menentukan batas spesifikasi.
2. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa PSO-CF mampu menemukan nilai maksimum *global desirability* yang lebih baik sehingga pada penelitian selanjutnya dapat digunakan PSO-CF sebagai pertimbangan dalam kasus optimasi multirespon.

Lampiran 1 :**Data Rancangan Eksperimen Lampu GLS**

(PD) X ₁	(CML) X ₂	Y1	Y2	Y3
		Lumen	Wattage	Lifetime
0	0	1400	100.32	851
0	0	1446	101.2	2000
-1.41421	0	1339	99	1190
1	1	1313	99.66	1190
0	1.41421	1296	100.76	1711
0	0	1376	100.1	1190
0	0	1382	100.76	1190
-1	-1	1353	98.78	1190
-1	1	1376	100.76	668
1.41421	0	1371	100.32	851
0	0	1403	100.54	851
1	-1	1423	100.76	495
0	-1.41421	1480	101.42	2000

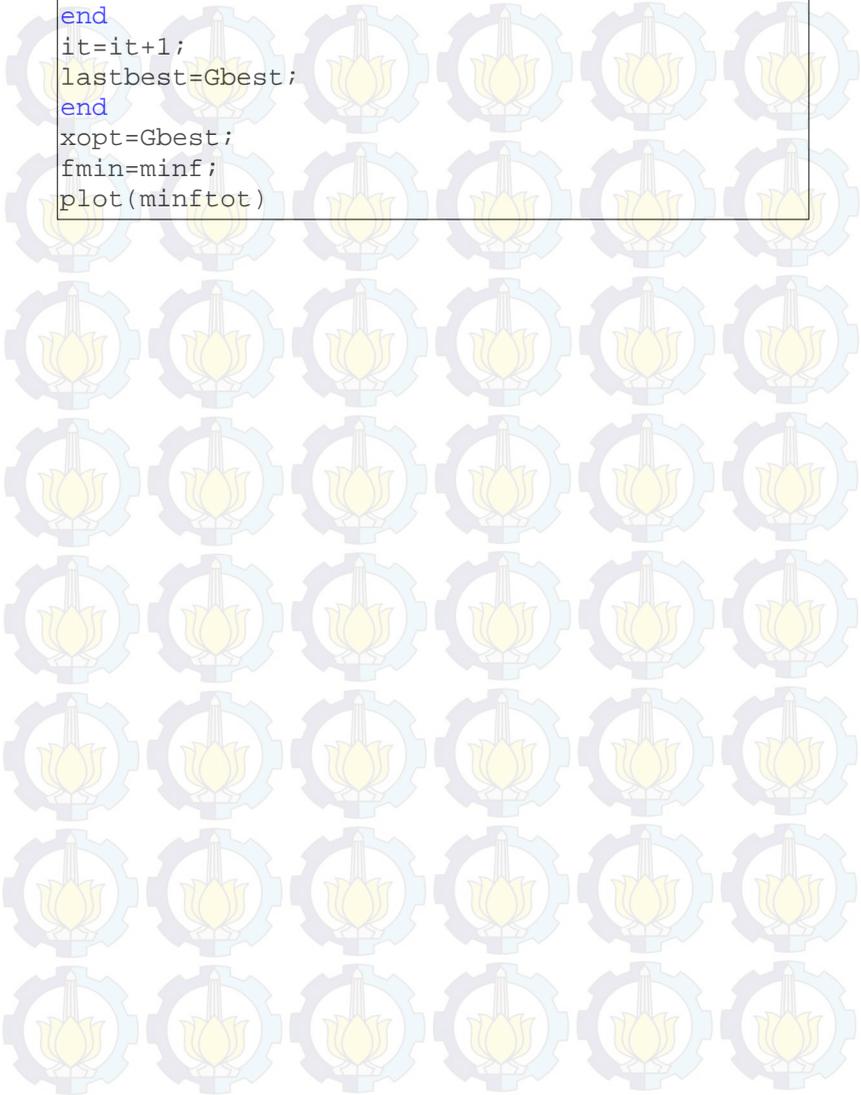
Lampiran 2 :**Program Particle Swarming Optimization Constriction Factor**

```

function [xopt,fmin,it]=tacf(N,maxit)
dim = 2;
upbnd = 1;
lwbnd = -1;
c1=2.05;
c2=2.05;
c=c1+c2;
k=2/abs((2-c-sqrt(c^2-4*c)));
x = lwbnd+(upbnd-lwbnd).*rand(N,dim);
[brs,kol]=size(x);
v=zeros(brs,kol);
f=zeros(N,1);
for i=1:brs
    f(i)=fungsi(x(i,:));
end
it=1;
Pbest=x;
fbest=f;
[minf,idk]=min(f);
Gbest=x(idk,:);
lastbest=[0 0];
minftot=[];
while it<maxit
    r1=rand;r2=rand;
    for j=1:brs
        v(j,:)=k.*(v(j,)+c1.*r1.*(Pbest(j,:)-
x(j,)+c2.*r2.*(Gbest-x(j,)));
        x(j,)=x(j,)+v(j,);
        f(j)=fungsi(x(j,));
    end
    changerow=f<fbest;
    fbest=fbest.*(1-changerow)+f.*changerow;
    Pbest(find(changerow),:)=x(find(changerow),:);
    [minf,idk]=min(fbest);
    minftot=[minftot;minf];
    Gbest=Pbest(idk,:);
end

```

```
if sum(var(Pbest))<1e-8
    break
end
it=it+1;
lastbest=Gbest;
end
xopt=Gbest;
fmin=minf;
plot(minftot)
```



Lampiran 3 :Program *Desirability Function* dengan Spesifikasi Perusahaan

```

function y = fungsi(x)
l1=6.53*(x(:,1))-43.3*(x(:,2));
l2=(-24.51*(x(:,1)).^2)+(-8.01*(x(:,2)).^2);
matl=x(:,1)*x(:,2)';
digm=diag(matl);
l3=(-33.25*digm);
l=1401.4+l1+l2+l3;
w1=0.343*(x(:,1))-0.007*(x(:,2));
w2=(-0.558*(x(:,1)).^2)+(0.157*(x(:,2)).^2);
matw=x(:,1)*x(:,2)';
digw=diag(matw);
w3=(-0.77*digw);
w=100.584+w1+w2+w3;
f1=-81.55*(x(:,1))-29.46*(x(:,2));
f2=(-236.01*(x(:,1)).^2)+(181.49*(x(:,2)).^2);
matf=x(:,1)*x(:,2)';
digf=diag(matf);
f3=(304.25*digf);
f=1216.4+f1+f2+f3;
n=length(l);
for i=1:n
if (l(i)<1283.4)
df1(i)=0;
elseif (l(i)>1380)
df1(i)=1;
else
df1(i)=((l(i)-1283.4)/(1380-1283.4)).^0.3333;
end
if (w(i)>104.5)
df2(i)=0;
elseif (w(i)<100)
df2(i)=1;
else
df2(i)=((104.5-w(i))/(104.5-100)).^0.3333;
end
if (f(i)<700)

```

```
    df3(i)=0;
elseif (f(i)>1000)
    df3(i)=1;
else
    df3(i)=((f(i)-700)/(1000-700)).^0.33334;
end
end
for i=1:n
glodes(i)=df1(i)*df2(i)*df3(i);
y(i)=1/(1+glodes(i));
end
end
```

Lampiran 4 :

Program *Desirability Function* dengan Spesifikasi Berdasarkan Percobaan

```

function y = jurnal(x)
l1=6.53*(x(:,1))-43.3*(x(:,2));
l2=(-24.51*(x(:,1)).^2)+(-8.01*(x(:,2)).^2);
matl=x(:,1)*x(:,2)';
digm=diag(matl);
l3=(-33.25*digm);
l=1401.4+l1+l2+l3;
w1=0.343*(x(:,1))-0.007*(x(:,2));
w2=(-0.558*(x(:,1)).^2)+(0.157*(x(:,2)).^2);
matw=x(:,1)*x(:,2)';
digw=diag(matw);
w3=(-0.77*digw);
w=100.584+w1+w2+w3;
f1=-81.55*(x(:,1))-29.46*(x(:,2));
f2=(-236.01*(x(:,1)).^2)+(181.49*(x(:,2)).^2);
matf=x(:,1)*x(:,2)';
digf=diag(matf);
f3=(304.25*digf);
f=1216.4+f1+f2+f3;
n=length(l);
for i=1:n
if (l(i)<1296)
df1(i)=0;
elseif (l(i)>1480)
df1(i)=1;
else
df1(i)=((l(i)-1296)/(1480-1296)).^0.3333;
end
if (w(i)>101.42)
df2(i)=0;
elseif (w(i)<98.78)
df2(i)=1;
else
df2(i)=((101.42-w(i))/(101.42-
98.78)).^0.3333;

```

```
end
if (f(i)<495)
    df3(i)=0;
elseif (f(i)>2000)
    df3(i)=1;
else
    df3(i)=((f(i)-495)/(2000-495)).^0.3334;
end
end
for i=1:n
    glodes(i)=df1(i)*df2(i)*df3(i);
    y(i)=1/(1+glodes(i));
end
end
```

Lampiran 5:Output *Running* PSO-CF dengan Spesifikasi Perusahaan

```
>> x=[-0.9132 -0.8176]
```

```
x = -0.9132 -0.8176
```

```
>> fungsi(x)
```

```
l = 1.3802e+003
```

```
w = 99.3412
```

```
f = 1.4666e+003
```

Lampiran 6:

Output *Running* PSO-CF dengan Spesifikasi Berdasarkan Percobaan

```
>> x=[-0.9132 -0.8176]
```

```
x = -0.9132 -0.8176
```

```
>> fungsi(x)
```

```
l = 1.3802e+003
```

```
w = 99.3412
```

```
f = 1.4666e+003
```

Lampiran 7:
Output Model *Response Surface* Variabel *Lumen*

Response Surface Regression: Lumen versus A; B

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Lumen

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1401,40	14,15	99,068	0,000
A	6,53	11,18	0,584	0,578
B	-43,40	11,18	-3,881	0,006
A*A	-24,51	11,99	-2,044	0,080
B*B	-8,01	11,99	-0,668	0,525
A*B	-33,25	15,82	-2,102	0,074

S = 31,6311 PRESS = 33073,9
R-Sq = 77,54% R-Sq(pred) = 0,00% R-Sq(adj) = 61,49%

Analysis of Variance for Lumen

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	24177,4	24177,4	4835,5	4,83	0,031
Linear	2	15411,1	15411,1	7705,6	7,70	0,017
A	1	341,3	341,3	341,3	0,34	0,578
B	1	15069,8	15069,8	15069,8	15,06	0,006
Square	2	4344,0	4344,0	2172,0	2,17	0,185
A*A	1	3897,4	4179,9	4179,9	4,18	0,080
B*B	1	446,6	446,6	446,6	0,45	0,525
Interaction	1	4422,3	4422,3	4422,3	4,42	0,074
A*B	1	4422,3	4422,3	4422,3	4,42	0,074
Residual Error	7	7003,7	7003,7	1000,5		
Lack-of-Fit	3	3988,5	3988,5	1329,5	1,76	0,293
Pure Error	4	3015,2	3015,2	753,8		
Total	12	31181,1				

Estimated Regression Coefficients for Lumen using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	1401,40
A	4,61872
B	-30,6898
A*A	-12,2562
B*B	-4,00625
A*B	-16,6250

Lampiran 8:
Output Model *Response Surface* Variabel *Wattage*

Response Surface Regression: Wattage versus A; B

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Wattage

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	100,584	0,2101	478,657	0,000
A	0,343	0,1661	2,067	0,078
B	-0,007	0,1661	-0,040	0,969
A*A	-0,558	0,1782	-3,134	0,017
B*B	0,157	0,1782	0,880	0,408
A*B	-0,770	0,2349	-3,277	0,014

S = 0,469882 PRESS = 7,01583
R-Sq = 79,12% R-Sq(pred) = 5,21% R-Sq(adj) = 64,20%

Analysis of Variance for Wattage

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	5,85595	5,85595	1,17119	5,30	0,025
Linear	2	0,94344	0,94344	0,47172	2,14	0,189
A	1	0,94309	0,94309	0,94309	4,27	0,078
B	1	0,00036	0,00036	0,00036	0,00	0,969
Square	2	2,54091	2,54091	1,27045	5,75	0,033
A*A	1	2,36998	2,16795	2,16795	9,82	0,017
B*B	1	0,17093	0,17093	0,17093	0,77	0,408
Interaction	1	2,37160	2,37160	2,37160	10,74	0,014
A*B	1	2,37160	2,37160	2,37160	10,74	0,014
Residual Error	7	1,54553	1,54553	0,22079		
Lack-of-Fit	3	0,82921	0,82921	0,27640	1,54	0,334
Pure Error	4	0,71632	0,71632	0,17908		
Total	12	7,40148				

Estimated Regression Coefficients for Wattage using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	100,584
A	0,242782
B	-0,00471825
A*A	-0,279125
B*B	0,0783750
A*B	-0,385000

Lampiran 9:
Output Model *Response Surface Variabel lifetime*

Response Surface Regression: Lifetime versus A; B

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Lifetime

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1216,40	210,2	5,787	0,001
A	-81,55	166,2	-0,491	0,639
B	-29,46	166,2	-0,177	0,864
A*A	-236,01	178,2	-1,324	0,227
B*B	181,49	178,2	1,018	0,342
A*B	304,25	235,0	1,295	0,237

S = 470,023 PRESS = 6100579
R-Sq = 42,37% R-Sq(pred) = 0,00% R-Sq(adj) = 1,20%

Analysis of Variance for Lifetime

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1136796	1136796	227359	1,03	0,468
Linear	2	60151	60151	30075	0,14	0,875
A	1	53206	53206	53206	0,24	0,639
B	1	6945	6945	6945	0,03	0,864
Square	2	706373	706373	353186	1,60	0,268
A*A	1	477241	387491	387491	1,75	0,227
B*B	1	229132	229132	229132	1,04	0,342
Interaction	1	370272	370272	370272	1,68	0,237
A*B	1	370272	370272	370272	1,68	0,237
Residual Error	7	1546452	1546452	220922		
Lack-of-Fit	3	663995	663995	221332	1,00	0,478
Pure Error	4	882457	882457	220614		
Total	12	2683248				

Estimated Regression Coefficients for Lifetime using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	1216,40
A	-57,6662
B	-20,8338
A*A	-118,006
B*B	90,7437
A*B	152,125

Lampiran 11:
Output Pengujian Asumsi Residual Identik Model *Lumen*

General Regression Analysis: res1 versus A; B

Regression Equation

$$\text{res1} = 18,48 + 0,928078 A - 2,24058 B - 5,11861 A^*A - 4,78185 A^*B + 6,81032 B^*B$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	18,4800	6,17194	2,99420	0,020
A	0,9281	4,87935	0,19021	0,855
B	-2,2406	4,87935	-0,45920	0,660
A*B	-4,7819	6,90044	-0,69298	0,511
A*A	-5,1186	5,23252	-0,97823	0,361
B*B	6,8103	5,23252	1,30154	0,234

Summary of Model

S = 13,8009 R-Sq = 34,96% R-Sq(adj) = -11,50%
PRESS = 2225,25 R-Sq(pred) = -8,56%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	716,52	716,52	143,304	0,75239	0,610078
A	1	6,89	6,89	6,891	0,03618	0,854547
B	1	40,16	40,16	40,162	0,21086	0,660012
A*B	1	91,46	91,46	91,465	0,48022	0,510653
A*A	1	255,36	182,26	182,262	0,95694	0,360549
B*B	1	322,65	322,65	322,646	1,69400	0,234270
Error	7	1333,25	1333,25	190,464		
Lack-of-Fit	3	25,60	25,60	8,534	0,02610	0,993425
Pure Error	4	1307,65	1307,65	326,912		
Total	12	2049,77				

Lampiran 12: Output Pengujian Asumsi Identik Model *Wattage*

General Regression Analysis: res2 versus A; B

Regression Equation

$$\text{res2} = 0,3168 + 0,0839658 A - 0,142016 B - 0,0584682 A*A - 0,0787589 A*B + 0,00556354 B*B$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,316800	0,0806450	3,92833	0,006
A	0,083966	0,0637555	1,31700	0,229
B	-0,142016	0,0637555	-2,22751	0,061
A*B	-0,078759	0,0901639	-0,87351	0,411
A*A	-0,058468	0,0683702	-0,85517	0,421
B*B	0,005564	0,0683702	0,08137	0,937

Summary of Model

S = 0,180328 R-Sq = 54,03% R-Sq(adj) = 21,20%
 PRESS = 0,428453 R-Sq(pred) = 13,48%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0,267574	0,267574	0,053515	1,64569	0,264732
A	1	0,056402	0,056402	0,056402	1,73448	0,229314
B	1	0,161348	0,161348	0,161348	4,96179	0,061196
A*B	1	0,024812	0,024812	0,024812	0,76302	0,411348
A*A	1	0,024797	0,023781	0,023781	0,73132	0,420759
B*B	1	0,000215	0,000215	0,000215	0,00662	0,937422
Error	7	0,227627	0,227627	0,032518		
Lack-of-Fit	3	0,013118	0,013118	0,004373	0,08154	0,966609
Pure Error	4	0,214509	0,214509	0,053627		
Total	12	0,495201				

Lampiran 13:
Output Pengujian Asumsi Identik Model *Lifetime*

General Regression Analysis: res3 versus A; B

Regression Equation

$$\text{res3} = 313,44 - 38,3023 A - 72,7135 B - 18,6575 A^*A - 1,5868e-013 A^*B - 18,6575 B^*B$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	313,440	105,727	2,96463	0,021
A	-38,302	83,584	-0,45825	0,661
B	-72,713	83,584	-0,86994	0,413
A*B	-0,000	118,206	-0,00000	1,000
A*A	-18,657	89,634	-0,20815	0,841
B*B	-18,658	89,634	-0,20815	0,841

Summary of Model

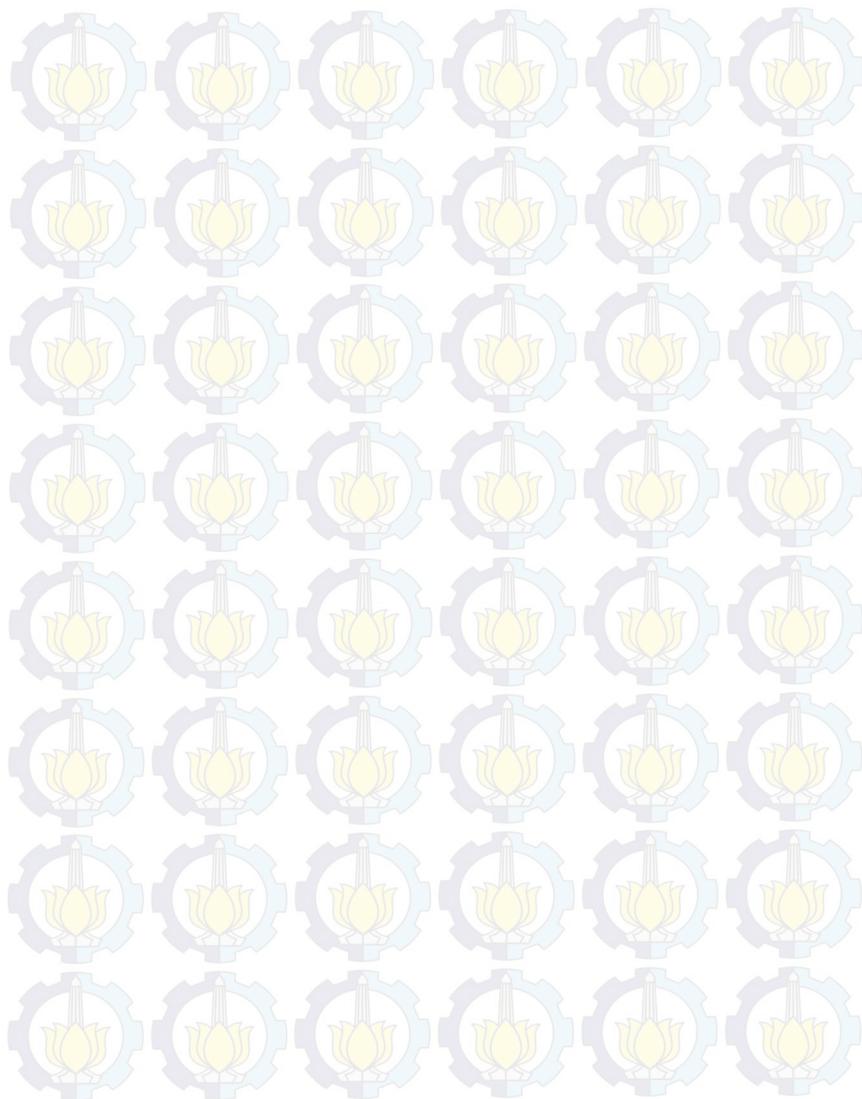
S = 236,412 R-Sq = 12,97% R-Sq(adj) = -49,19%
PRESS = 611303 R-Sq(pred) = -35,98%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	58319	58319	11663,8	0,208689	0,94827
A	1	11737	11737	11736,5	0,209991	0,66066
B	1	42298	42298	42298,0	0,756800	0,41317
A*B	1	0	0	0,0	0,000000	1,00000
A*A	1	1863	2422	2421,6	0,043327	0,84104
B*B	1	2422	2422	2421,6	0,043327	0,84104
Error	7	391234	391234	55890,6		
Lack-of-Fit	3	0	0	0,0	0,000000	1,00000
Pure Error	4	391234	391234	97808,5		
Total	12	449553				

Lampiran 14:Tabel Nilai Kuantil Uji *Kolmogorov-Smirnov*

n	$\alpha=0,2$	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,02$	$\alpha=0,01$
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,43	0,480	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
Pendekatan	$1,07/\sqrt{n}$	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,52/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$



DAFTAR PUSTAKA

- Alrijadjis, & Astrowulan, K. (2010). *Optimasi Kontroler PID Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Sistem dengan Waktu Tunda*. Tesis Program Magister: Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anwar, A., & Mahmood, A. N. (2014). Swarm Intelligence Based Multiphase OPF For Peak Power Loss Reduction In A Smart Grid. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Washington DC, USA, 21 Agustus 2014, arXiv:1408.4849v1 cs.CE].
- Basakar, N., Asokan, P., Saravanan, R., & Prabakaran, G. (2005). Optimization of Machining Parameters for Milling Operation Using Non-conventional methods. *International Journal of advance Manufacturing Technology*, 25, 1078-1088.
- Castillo, D. E., Montgomery, D. C., & McCarville, D. D. (1996). Desirability Function for Multiple Response Optimization. *Journal of Technology*, Vol. 28, No. 3.
- Clerc, M. (1999). The swarm and the queen: Towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization. *In Proceedings of the congress on evolutionary computation* (hal. pp. 1951–1957). Piscataway, NJ: IEEE Service Center.
- Clerc, M., & Kennedy, J. (2002). The Particle Swarm - Explosion, Stability, and Convergence in a Multidimensional Complex Space. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, no. 1, pp. 58–73.
- Daniel, W. (1989). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Jakarta: PT. Gramedia.

- Drapper, N. R., & Smith, H. (1992). *Analisis Regresi Terapan Edisi Kedua*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka.
- Eberhart, R., & Shi, Y. (2000). Comparing inertia weights and constriction factors in particle swarm optimization. *Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation*, vol. 1, 2000, pp. 84–88.
- Fatima, A. (2012). *Optimasi Lumen, Wattage Dan Lifetime Pada Lampu GLS Produksi PT. PHILIPS Indonesia Secara Serentak Dengan Pendekatan Fungsi Desirability*. Tugas Akhir S1: Jurusan Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gujarati, D. N. (2004). *Basic Econometrics: Fourth Edition*. New Delhi: The Mc-Graw Hill Companies.
- Hu, P., & Zhao, X. (2011). Particle Swarm Optimization for Multi-response Parameter Optimization Based on Desirability Functions. *IEEE , International Conference of Information Technology*, DOI 10.1109/ICM.2011.129.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *IEEE , Washington DC*, 0-7803-2768-3/95/\$4.00.
- Khuri, A. I., & Cornell, J. A. (1996). *Response surface Design and Analysis*. New York : Marcell Dekker.
- Krohling, R. A., & Coelho, L. d. (2006). Coevolutionary particle swarm optimization using gaussian distribution for solving constrained optimization problems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, vol. 36, no. 6, pp. 1407–1416.
- Majumder, A., Das, P. K., Majumder, A., & Debnath, M. (2014). An Approach to Optimize the EDM Process

Parameters Using Desirability-Based Multiobjective PSO. *Taylor and Francis*, 14.

Montgomery, D. C. (1997). *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley, Sons.

Park, S. H. (1996). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. London: Chapman&Hall.

Primasetya, O. R., Hendranto, G., & Endroyono. (2013). Optimalisasi Jaringan SFN pada Sistem DVB-T2 Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization. *JURNAL TEKNIK POMITS*, Vol. 2, No. 2.

Santosa, B., & Willy, P. (2011). *Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*. Surabaya: Guna Widya.

Vlachogiannis, J., & Lee, K. (2006). A comparative study on particle swarm optimization for optimal steady-state performance of power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 4, pp. 1718–1728.

Wahyuni, A. I. (2012, Agustus 8). Produksi Lampu Pijar untuk dalam Negeri akan Dilarang. Surabaya.

Wei, W. (2006). *Time series Analysis Univariate and Multivariate Methods*. Philadelphia: Pearson Addison Wesley.

Zadbood, A., Noghondarian, K., & Zadbood, Z. (2013). Multiresponse Surface Optimization Via Harmony Search Algorithm. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 24(2) pp. 131-136.



BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Faroh Ladayya. Penulis lahir di Tulungagung, pada tanggal 28 Januari tahun 1994. Jenjang pendidikan yang telah ditempuh penulis adalah RA Halimah Asa'diah pada tahun 1998-1999. Menempuh Sekolah Dasar di MI Manba'ul Ulum pada (1999-2005), SMP Negeri 1 Ngunut (2005-2008), SMA Negeri 1 Blitar (2008-2011).

Setelah lulus SMA penulis mendaftar di Jurusan Statistika ITS melalui jalur SNMPTN undangan dan tercatat sebagai mahasiswi Statistika FMIPA ITS dan keluarga sigma22 dengan NRP 1311100007. Selama menempuh kuliah di Jurusan Statistika ITS, penulis pernah menjadi asisten dosen serta aktif di organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah aktif di organisasi HIMASTA-ITS sebagai staff LITBANG periode 2012-2013, staff PPSDM FORSIS-ITS periode 1433-1434, Ketua Departemen LITBANG HIMASTA-ITS periode 2013-2014, dan Kopidep Departemen PPSDM FORSIS-ITS 1434-1435.

Segala saran dan kritik yang membangun selalu penulis harapkan untuk kebaikan ke depannya. Penulis dapat dihubungi di ladayyafaroh@gmail.com.