

**PENERAPAN METODE *RESPONSE OPTIMIZER* DAN
STEEPEST DESCENT DI BIDANG INDUSTRI
(STUDI KASUS DI PT. PHILIPS INDONESIA)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Statistika

oleh:

Yustian Al Fariz
0810953022-95



**PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2012**

**PENERAPAN METODE *RESPONSE OPTIMIZER* DAN
STEEPEST DESCENT DI BIDANG INDUSTRI
(STUDI KASUS DI PT. PHILIPS INDONESIA)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Statistika

oleh:

Yustian Al Fariz
0810953022-95



**PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2012**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENERAPAN METODE *RESPONSE OPTIMIZER* DAN
STEEPEST DESCENT DI BIDANG INDUSTRI
(STUDI KASUS DI PT. PHILIPS INDONESIA)**

Oleh :
YUSTIAN AL FARIZ
0810953022-95

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 17 Desember 2012
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam Bidang Statistika

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Ni Wayan Surya W., MS
NIP. 19551102 198103 2 001

Prof. Dr. Ir. Waego Hadi Nugroho
NIP. 19521207 197903 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

DR. Abdul Rouf Alghofari, MSc.
NIP. 19670907 199203 1 001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yustian Al Fariz

NIM : 0810953022-95

Jurusan : Matematika/Statistika

Penulis Skripsi Berjudul : PENERAPAN METODE
RESPONSE OPTIMIZER DAN
STEEPEST DESCENT DI BIDANG
INDUSTRI (STUDI KASUS DI PT.
PHILIPS INDONESIA)

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka Skripsi ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila dikemudian hari diketahui bahwa isi Skripsi saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 17 Desember 2012

Yang menyatakan,

Yustian Al Fariz
NIM. 0810953022-95

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**PENERAPAN METODE *RESPONSE OPTIMIZER* DAN
STEEPEST DESCENT DI BIDANG INDUSTRI
(STUDI KASUS DI PT. PHILIPS INDONESIA)**

ABSTRAK

Metode *Response Optimizer* dan *Steepest Descent* merupakan suatu metode optimasi yang dapat memberikan solusi optimal terhadap respon. Pada penelitian ini kedua metode tersebut diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan pada perusahaan lampu pijar PT. Philips Indonesia yang mengalami kesulitan dalam mengontrol hasil produksi secara konsisten. Pada kasus ini, diidentifikasi faktor yang diduga berpengaruh terhadap respon yaitu *range* dinding lampu (selisih antara ketebalan dinding maksimum dan minimum). Berdasarkan hasil identifikasi dilakukan dua macam percobaan, menggunakan rancangan acak lengkap faktorial khusus 2^2 dan rancangan permukaan respon. Hasil analisis menggunakan *response optimizer* menunjukkan kondisi terbaik adalah saat suhu pembakaran $485\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan *range* sebelum pembakaran 0.01 mm , dan hasil pembakaran memiliki *range* 0.032 mm , sedangkan analisis menggunakan metode *steepest descent* menunjukkan kondisi terbaik adalah saat suhu pembakaran $484.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan *range* sebelum pembakaran 0.012 mm dan hasil pembakaran memiliki *range* 0.015 mm . Jadi kedua metode dapat memberikan hasil yang sesuai dengan harapan perusahaan yaitu *range* dinding lampu tidak lebih dari 0.05 mm .

Kata kunci : faktor, *range*, temperatur, *setting*, *Response Optimizer*, *permukaan respon*, *steepest descent*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



APPLICATION OF THE RESPONSE OPTIMIZER AND STEEPEST DESCENT METHOD IN INDUSTRY (CASE STUDY IN PT. PHILIPS INDONESIA)

ABSTRACT

Response Optimizer and Steepest Descent optimization is a method which can provide the optimum solution to the response. In the study, both methods are applied to resolve problems at the company Philips incandescent lamp PT. Indonesia which has difficulty in controlling the production results consistently. In this case, is identified which is the factors that are thought to have an effect on the response in the form of a wall thickness range (the difference between the maximum and minimum wall thickness). Based on the results of the identification, two kinds of experiments has been done, using 2^2 factorial design and response surface design. The results of the analysis using response optimizer showed the best conditions when the combustion temperature was 485°C with a range 0.01 mm before burning, so the result was 0.032 mm, whereas the analysis using response surface methods showed the best conditions when the temperature was 484.7°C with range 0.012 mm before burning, so the result was 0.015 mm, so that the two methods gave results that correspond to the expectations of the company that is no more than 0.05 mm.

Key words : factor, range, temperature, setting, Response Optimizer, response surface method, steepest descent.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbandingan Metode *Response Optimizer* dan *Steepest Descent* (Studi Kasus di PT. Philips Indonesia)”.

Penulis mengucapkan terimakasih pada semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini, terutama kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Ni Wayan Surya Wardhani, MS sebagai dosen pembimbing I dan Prof. Dr. Ir. Waego Hadi Nugroho sebagai dosen pembimbing II, yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan serta motivasi.
2. Ibu Dr. Ir. Maria Bernadetha Mitakda selaku dosen penguji atas saran dan masukan bermanfaat yang telah diberikan.
3. Bapak Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc. selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
4. Ibu, Ayah, Adik dan semua keluarga atas dukungan, perhatian dan doa yang diberikan selama ini kepada penulis untuk mencapai prestasi terbaik.
5. Neves noci + Additional (Nanang, Lebog, Idub, Ludi, Gilang, Sudrun, Ardha, Putu) atas persahabatan yang tulus dan semangat selama ini.
6. Seluruh teman-teman Statistika 2008 atas kebersamaan, perjuangan, dukungan, kerjasama dan semangat selama ini.
7. Teman-teman Statistika UB atas bantuan, dukungan dan perhatiannya.
8. Seluruh pihak yang telah berpartisipasi yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis menerima saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Malang, 17 Desember 2012

Penulis

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Metode <i>Response Optimizer</i>	3
2.2 Pembentukan Fungsi <i>Desirability</i>	5
2.3 Metode Permukaan Respon dengan Pendekatan <i>Steepest Descent</i>	10
2.4 Optimasi <i>Steepest Descent</i>	11
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Studi Kasus	13
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	13
3.3 Sumber Data	13
3.4 Metode	13
3.5 Diagram Alir	15

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Faktor yang Berpengaruh	17
4.2 Analisis Optimasi dengan <i>Response Optimizer</i>	17
4.2.1 Uji Asumsi	17
4.2.2 Analisis Ragam (Data 1).....	19
4.2.3 Spesifikasi Faktor Maksimal (Ketentuan Perusahaan) ..	21
4.2.4 Optimasi Menggunakan <i>Response Optimizer</i>	22
4.3 Analisis Optimasi dengan <i>Response Surface</i>	23
4.3.1 Analisis Ragam (Data 2).....	23
4.3.2 Asumsi Kenormalan Galat	27
4.3.3 Asumsi Kebebasan Galat	28
4.3.4 Analisis Titik Optimum dengan Pendekatan <i>Steepest Descent</i>	28
4.4 Perbandingan <i>Response Optimizer</i> dan <i>Response Surface</i> <i>Method</i>	34

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35

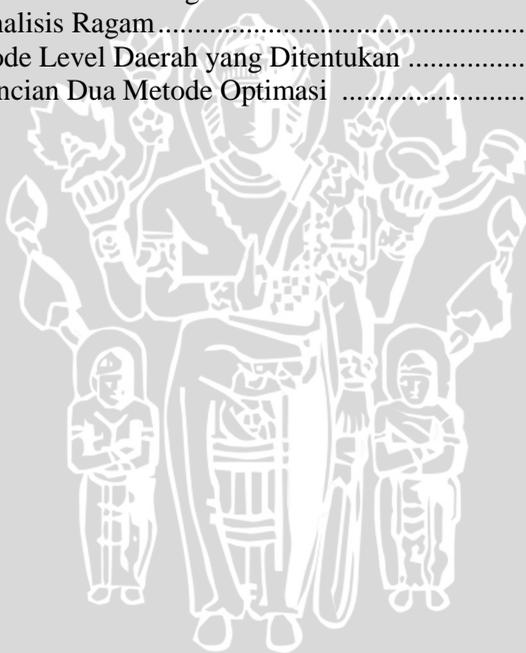
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	43

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Skala Penilaian Berbagai Fungsi <i>Desirability</i>	9
Tabel 4.1 Asumsi Homogenitas Ragam	18
Tabel 4.2 Analisis Ragam (Data 1).....	19
Tabel 4.3 Hasil Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksi (Data 1)	20
Tabel 4.4 Hasil Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksi (Data2)	23
Tabel 4.5 Analisis Ragam (Data 2).....	24
Tabel 4.6 Hasil Analisis Pengaruh Faktor dan Interaksi.....	25
Tabel 4.7 Analisis Ragam.....	25
Tabel 4.8 Kode Level Daerah yang Ditentukan	29
Tabel 4.9 Rincian Dua Metode Optimasi	34



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bentuk <i>Desirability Function</i> Saat Posisi Maksimalisasi	4
Gambar 2.2 Bentuk <i>Desirability Function</i> Saat Posisi Minimalisasi	4
Gambar 2.3 Fungsi <i>Desirability</i> untuk Mencapai Nilai Target ..	6
Gambar 2.4 Fungsi <i>Desirability</i> untuk Memaksimalkan Respon	7
Gambar 2.5 Fungsi <i>Desirability</i> untuk Meminimumkan Respon	8
Gambar 2.6 Orde Pertama <i>response Surface</i> dan Alur <i>Steepest Descent</i>	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis <i>Response Optimizer</i>	15
Gambar 3.2 Diagram Alir Analisis <i>Response Surface</i>	16
Gambar 4.1 Gambar Uji Asumsi Kenormalan Galat	18
Gambar 4.2 Optimasi Menggunakan <i>Response Optimizer</i>	22
Gambar 4.3 Gambar Uji Asumsi Kenormalan Galat	27
Gambar 4.4 Plot Uji Asumsi Kebebasan Galat	28
Gambar 4.5 <i>Contour Plot</i> Hubungan Antara Faktor Terhadap Respon	31
Gambar 4.6 <i>Surface Plot</i> Hubungan Antara Faktor Terhadap Respon	32
Gambar 4.7 <i>Contour Plot of Response</i>	33

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data 1 (Rancangan Percobaan Faktorial Khusus 2^k)	39
Lampiran 2. Hasil Analisis Ragam Pada Data 1	40
Lampiran 3. Analisis Pengaruh Setiap Perlakuan (Secara Visual)	41
Lampiran 4. <i>Probability Plot of Residual</i>	45
Lampiran 5. <i>Versus Order Plot</i> (Uji Asumsi Kebebasan Galat) .	46
Lampiran 6. <i>Normal Plot of Standardized Effects</i>	47
Lampiran 7. <i>Pareto Chart of Standardized Effects</i>	48
Lampiran 8. Optimasi Respon Menggunakan Metode <i>Response Optimizer</i>	49
Lampiran 9. Data 2 (Rancangan Percobaan Permukaan respon)	50
Lampiran 10. Hasil Analisis Ragam Pada Data 2 (<i>First Order</i>) ...	51
Lampiran 11. Hasil Analisis Ragam Pada Data 2 (<i>Second Order</i>)	52
Lampiran 12. <i>Probability Plot of Residual</i>	53
Lampiran 13. <i>Versus Order Plot</i> (Uji Asumsi Kebebasan Galat) .	54
Lampiran 14. <i>Contour Plot of Response Versus Temp and Range</i>	55
Lampiran 15. <i>Surface Plot of Response versus Temp and Range</i> .	56
Lampiran 16. <i>Contour Plot of response</i>	57
Lampiran 17. Perhitungan Titik-titik Optimal dengan Pendekatan <i>Steepest Descent</i>	58

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dunia industri, statistika sangat diperlukan sebagai alat pengendali kualitas produk yang dihasilkan agar bisa sebaik mungkin dan sesuai dengan permintaan konsumen, sehingga perusahaan industri memiliki batasan-batasan spesifikasi terhadap suatu produk. Kendala yang dihadapi adalah mesin-mesin industri bahkan bahan baku tidak selalu sesuai dengan yang diinginkan oleh perusahaan untuk memenuhi permintaan konsumen.

Sebagaimana pada pabrik lampu pijar PT. Philips Indonesia dengan produk utama lampu pijar, kebijakan mutu adalah efisiensi bahan baku kaca yang selama ini kurang optimal dikarenakan selisih ketebalan dinding maksimum dan minimum sebelum pembakaran setelah dipadukan dengan proses pembakaran menghasilkan selisih ketebalan yang tidak konsisten.

Metode pendekatan pertama untuk mencapai optimasi ini adalah dengan *desirability function*, di mana fungsi ini ditemukan oleh Harrington pada tahun 1965, kemudian dipopulerkan oleh Derringer dan Suich tahun 1980 (Ramsey, 2005).

Metode kedua adalah metode permukaan respon dengan pendekatan *steepest descent* yang menggunakan model regresi linier dan kuadratik untuk mengoptimalkan respon.

Metode optimasi akan dilakukan dengan harapan dapat mengoptimalkan selisih ketebalan dinding kaca setelah bahan baku dipanaskan sehingga menghasilkan selisih ketebalan optimal sekaligus konsisten sesuai harapan perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pengertian *response optimizer*.
2. Pembentukan fungsi *Desirability*.
3. Pengertian metode *response surface* dengan pendekatan *steepest descent*.
4. Pembentukan optimasi *steepest descent*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah untuk:

1. Menerapkan metode *response optimizer* dan *steepest descent*.
2. Mengetahui pendekatan optimasi respon menggunakan metode *response optimizer* dan *steepest descent*.
3. Membandingkan hasil analisis menggunakan metode optimasi dengan *response optimizer* dan *steepest descent*.

1.4 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini dibatasi pada:

1. Pendekatan optimasi respon menggunakan metode *response optimizer* dan *steepest descent*.
2. Data yang digunakan merupakan data primer tahun 2011.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan wawasan kepada pembaca bahwa metode *response optimizer* dan *steepest descent* merupakan teknik optimasi statistika yang berguna di bidang pengendalian mutu dengan harapan perusahaan bisa memenuhi tuntutan pelanggan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode *Response Optimizer*

Menurut Ramsey (2005), salah satu pendekatan untuk mencapai optimasi adalah dengan *desirability functions*, yang ditemukan oleh Harrington pada tahun 1965, kemudian dipopulerkan oleh Derringer dan Suich pada tahun 1980.

Tantangan pada optimasi adalah mencari kondisi-kondisi tertentu ketika dilakukan percobaan yang menggunakan banyak peubah *input* hingga menghasilkan kinerja tertentu yang diinginkan terhadap satu atau lebih respon. Optimasi dilakukan untuk menemukan kondisi terbaik beberapa faktor maupun interaksinya sehingga diharapkan dengan kondisi terbaik bisa dihasilkan produk (respon) yang sesuai dengan harapan. baik untuk satu respon atau lebih.

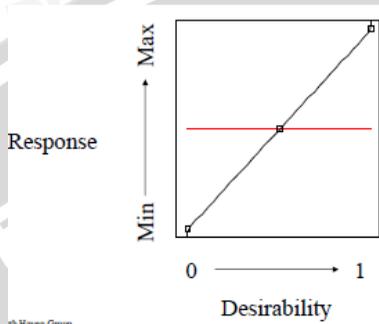
Langkah-langkah optimasi dengan fungsi *desirability* yang ditulis dalam *Engineering Statistics Handbook* (2004) :

1. Merancang dan melakukan percobaan.
2. Membuat *individual desirability* untuk setiap respon yang terbentuk.
3. Menggabungkan fungsi *individual desirability* menjadi fungsi *overall desirability* kemudian dioptimalkan.

Metode *response optimizer* menggunakan pendekatan *desirability function* dalam menentukan titik-titik optimal untuk memberikan hasil yang merupakan cerminan dari keinginan peneliti, dengan skala antara 0 hingga 1, dengan kriteria:

1. Skala 0, nilai yang jauh dari harapan.
2. Skala 1, nilai yang benar-benar paling diharapkan.
3. Skala antara 0 hingga 1 tergantung peneliti dalam menjelaskan, dengan catatan semakin mendekati 0 semakin menjauh dari harapan dan sebaliknya jika nilai mendekati 1.

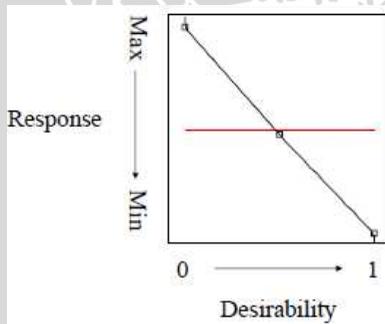
Desirability function tergantung pada tujuan peneliti, jika peneliti ingin memaksimalkan respon, maka bentuk *desirability function* digambarkan sebagai berikut,



Gambar 2.1. Bentuk *desirability function* saat kondisi maksimal

Dari Gambar 2.1 diketahui bahwa jika peneliti menginginkan optimasi respon pada titik teratas (maksimalisasi respon) maka semakin maksimum titik respon yang diinginkan akan diikuti nilai *desirability* yang semakin mendekati satu.

Jika peneliti ingin meminimalkan respon, maka bentuk *desirability function* adalah,



Gambar 2.2. Bentuk *desirability function* saat kondisi minimal

Dari Gambar 2.2 diketahui bahwa jika peneliti menginginkan optimasi respon pada titik terendah (minimalisasi respon) maka semakin minimum titik respon yang diinginkan akan diikuti nilai *desirability* yang semakin mendekati satu. Kedekatan dengan angka satu sesuai dengan harapan yang diinginkan pada uji yang dilakukan.

Semakin mendekati satu, maka proses optimasi respon semakin mendekati kesesuaian dengan yang diinginkan dan sebaliknya jika mendekati nol, maka proses optimasi respon semakin menjauh dari yang diinginkan.

Deringer dan Suich (2002) menjelaskan jika ingin mencari nilai respon yang optimum pada suatu rancangan percobaan maka pendekatan yang digunakan adalah pendekatan dengan fungsi keinginan yaitu metode yang biasa digunakan untuk melakukan optimasi beberapa respon dari suatu proses. Hal itu didasari pada kenyataan bahwa kualitas respon dari proses memiliki beberapa karakteristik yang perlu dioptimumkan secara serentak. Untuk setiap respon Y_i suatu fungsi keinginan $d_i(Y_i)$ dinyatakan dalam angka antara 0 sampai 1.

Penerapan metode optimasi menggunakan *response optimizer* hanya bisa digunakan pada suatu rancangan percobaan khusus, yaitu pada rancangan faktorial 2^k , *mixture design* dan rancangan *response surface*. Pada penelitian ini digunakan rancangan percobaan faktorial khusus 2^k . Menurut Damayanti (2010), rancangan faktorial digunakan untuk menyelidiki pengaruh beberapa faktor yang berbeda secara bersamaan, di mana pengaruh tersebut dianggap berpengaruh terhadap objek yang akan dicobakan dan faktor-faktor itu sendiri bekerja secara bersamaan dalam mempengaruhi objek.

Rancangan faktorial lengkap 2^k merupakan metode faktorial khusus untuk suatu analisis percobaan di mana rancangan percobaan terdiri dari k faktor dan masing-masing bertaraf dua (rendah dan tinggi), bisa bersifat kuantitatif maupun kualitatif (Montgomery, 2005).

2.2 Pembentukan fungsi *Desirability*

Fungsi keinginan merupakan suatu transformasi geometri respon dari nilai nol sampai satu. Respon-respon yang berada dalam batas yang ditentukan bernilai antara nol sampai dengan satu ($0 < d_i \leq 1$) dan yang berada di luar batas spesifikasi diberi nilai nol ($d_i = 0$), yang kemudian disebut sebagai fungsi *individual desirability* (d_i). Kemudian fungsi tersebut digabung menggunakan rata-rata geometri yang disebut fungsi *composite* atau *overall desirability* sebagaimana pada persamaan (2.1),

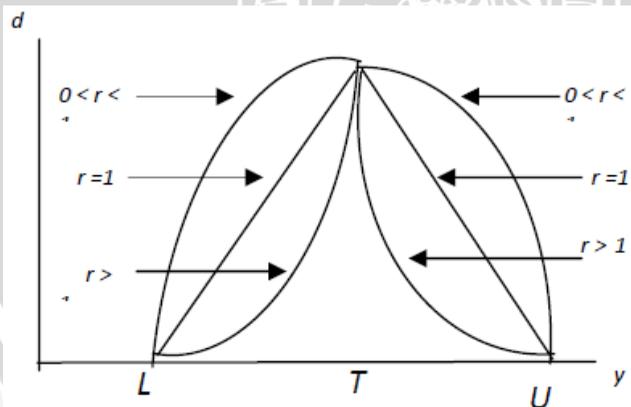
$$D = \sqrt[k]{d_1 \times d_2 \times d_3 \times \dots \times d_k} \quad (2.1)$$

di mana k menyatakan banyaknya respon. Jika ada respon diluar batas spesifikasi maka $d_i = 0$, sehingga nilai fungsi *overall desirability* adalah nol.

Menurut Montgomery (2001), jika L_i , U_i dan T_i merupakan batas bawah, batas atas dan target respon, maka untuk respon *nominal the best* nilai *desirability* dapat dihitung sebagaimana pada persamaan 2.2,

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & \text{Jika } \hat{Y}_i(x) \leq L_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i} \right)^{r_l} & \text{Jika } L_i < \hat{Y}_i(x) < T_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i} \right)^{r_u} & \text{Jika } T_i < \hat{Y}_i(x) < U_i \\ 0 & \text{Jika } \hat{Y}_i(x) \geq U_i \end{cases} \quad (2.2)$$

Secara *visual* ditampilkan pada Gambar 2.3.



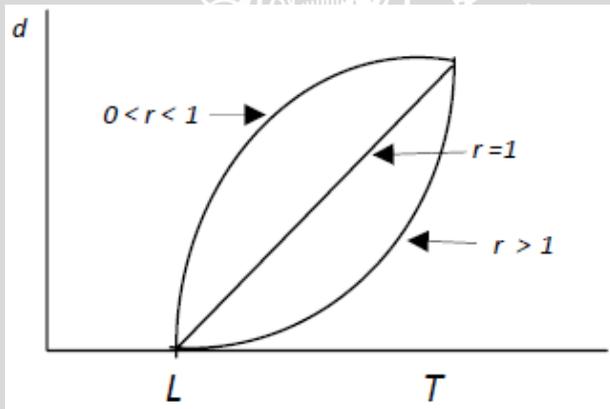
Gambar 2.3. Fungsi *desirability* untuk mencapai nilai target

Dari Gambar 2.3 nilai *desirability* akan mencapai nilai satu ketika respon mulai mendekati target.

Jika diinginkan optimasi respon sebesar mungkin (optimasi pada titik tertinggi), maka fungsi *individual desirability* adalah,

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & \text{Jika } \hat{Y}_i(x) \leq L_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i} \right)^r & \text{Jika } L_i < \hat{Y}_i(x) < T_i \\ 1 & \text{Jika } \hat{Y}_i(x) \geq T_i \end{cases} \quad (2.3)$$

Secara *visual* ditampilkan pada Gambar 2.4.



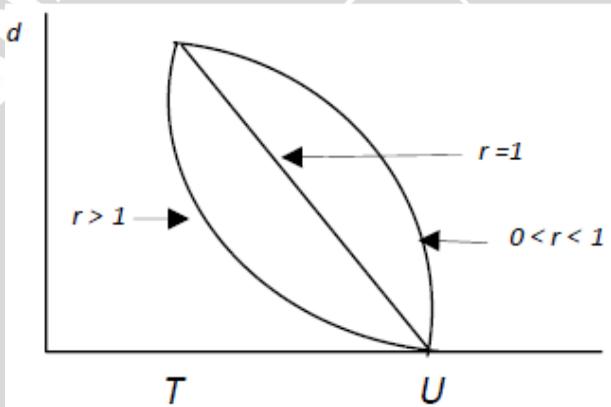
Gambar 2.4. Fungsi *desirability* untuk memaksimalkan respon

Dari Gambar 2.4 nilai *desirability* akan mencapai nilai satu ketika respon mulai mendekati target, di mana batasan spesifikasi antara *lower* (L) dengan *target* (T), sehingga fungsi (2.3) merupakan fungsi maksimalisasi dari batas bawah menuju target.

Jika diinginkan optimasi respon sekecil mungkin (optimasi pada titik terendah), maka fungsi *individual desirability* adalah,

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 1 & \text{Jika } \hat{Y}_i(x) \leq T_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i} \right)^{r_i} & \text{Jika } T_i < \hat{Y}_i(x) < U_i \\ 0 & \text{Jika } \hat{Y}_i(x) \geq U_i \end{cases} \quad (2.4)$$

Secara *visual* ditampilkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Fungsi *desirability* untuk meminimumkan respon

Dari Gambar 2.5 nilai *desirability* akan semakin mencapai nilai satu ketika respon mulai mendekati target, di mana batasan spesifikasi antara *target* (T) dengan *upper* (U), sehingga fungsi (2.3) merupakan fungsi minimalisasi dari batas atas menuju target.

Dari persamaan fungsi *desirability* terdapat bobot (r) yang berguna untuk mendefinisikan bentuk dari fungsi *desirability* pada setiap respon. Bobot dipilih untuk menekankan atau melonggarkan target (Montgomery, 2001).

1. Untuk $0 < r < 1$, memberikan penekanan yang kurang pada target. Semakin besar nilai *desirability* semakin jauh nilai respon dari target.
2. Untuk $r = 1$, memberikan nilai kepentingan yang sama pada target dan nilai batas-batasnya. Nilai *desirability* dari suatu respon meningkat secara linier.
3. Untuk $r > 1$, memberikan penekanan yang lebih pada target. Suatu respon harus sangat dekat dengan target agar memiliki nilai *desirability* yang tinggi.

Setelah perhitungan *individual desirability*, dihitung nilai *overall desirability*, sehingga didapatkan nilai-nilai antara nol sampai satu, berdasarkan nilai-nilai ini dapat ditentukan apakah hasil optimasi menggunakan *response optimizer* sesuai dengan harapan.

Berikut disajikan tabel yang merupakan penentuan kualitas hasil fungsi *desirability* terhadap nilai-nilai antara 0 hingga 1,

Tabel 2.1. Skala penilaian berbagai fungsi *desirability* menurut Deringer dan Suich (2002)

<i>Desirability</i>	Skala Nilai
Sangat Baik	1.00 – 0.80
Baik	0.80 – 0.63
Cukup	0.63 – 0.37
Kurang	0.37 – 0.20
Sangat Kurang	0.20 – 0.00

Berdasarkan Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa nilai 0 menjelaskan target respon tidak sesuai dengan yang diinginkan, nilai 1 menunjukkan bahwa nilai target telah sesuai dengan yang diinginkan, sedangkan nilai-nilai antara 0 hingga 1 memiliki skala penilaian tertentu.

2.3 Metode Permukaan Respon dengan Pendekatan *Steepest Descent*

Metode permukaan respon digunakan untuk menguji hubungan antara satu peubah respon atau lebih dengan satu himpunan faktor yang bersifat kuantitatif. Metode ini digunakan setelah diidentifikasi faktor yang berpengaruh dan dapat dikontrol dengan tujuan ingin ditemukan kondisi faktor yang bisa mengoptimalkan respon. Rancangan jenis ini pada umumnya digunakan ketika diduga terdapat lengkungan pada permukaan respon (Draper dan Box, 1987).

Cornell (1987) menjelaskan bahwa metode permukaan respon digunakan untuk menemukan kondisi optimal yang menghasilkan respon terbaik dan sesuai dengan spesifikasi proses. Selain itu berfungsi untuk mengidentifikasi kondisi dari *setting* faktor yang baru dengan harapan bisa dilakukan pengembangan-pengembangan baru terhadap kualitas produksi berdasarkan kondisi yang sebelumnya.

Metode permukaan respon merupakan serangkaian teknik rancangan percobaan yang dapat membantu dalam mengoptimalkan respon. Rancangan permukaan respon sering digunakan untuk memilih model ketika diduga adanya lengkungan pada permukaan respon.

Perbedaan antara model pada permukaan respon dengan rancangan faktorial adalah kondisi kuadrat yang menyebabkan model memiliki lengkungan terhadap respon dan akan berguna untuk mengetahui daerah-daerah permukaan respon dan mendapatkan taraf dari faktor yang optimal terhadap respon.

Metode *steepest descent* merupakan bagian dari metode *response surface* yang menggunakan model regresi linier dan kuadrat untuk menentukan titik optimal. Rancangan percobaan dan analisis hasil optimasi peubah proses yang berpengaruh dilakukan dengan menggunakan *Response Surface Method* (RSM) (Montgomery, 1998).

Prosedur untuk mencari respon minimum disebut dengan *Steepest Descent Method* (metode turunan tercuram). Montgomery (2001) menjelaskan bahwa *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan metode matematika dan statistika yang digunakan untuk melihat hubungan antara satu atau lebih peubah perlakuan berbentuk

kuantitatif dengan sebuah peubah respon yang bertujuan untuk mengoptimalkan respon tersebut dalam suatu percobaan.

2.4 Optimasi *Steepest Descent*

Menurut Montgomery (1997), salah satu metode perancangan eksperimen yang digunakan untuk mengetahui kondisi optimal adalah Metode *Response Surface*. Metode ini menggabungkan teknik matematika dengan teknik statistika yang digunakan untuk membuat dan menganalisa suatu respon Y yang dipengaruhi oleh beberapa peubah penjelas atau faktor X guna mengoptimalkan respon tersebut. Hubungan antara respon Y dan peubah penjelas dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$Y = f(X_i) + \varepsilon \quad (2.5)$$

di mana:

- Y : peubah respon
- X_i : peubah bebas/faktor ($i = 1, 2, 3, \dots, k$)
- ε : error

Hubungan antara Y dan X_i dapat diduga menggunakan model linier dan kuadrat, di mana model linier digunakan untuk mencari daerah optimal dan model kuadrat untuk mencari titik optimal. Hubungan antara Y dan X_i yang bersifat linier adalah :

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k + \varepsilon \quad (2.6)$$

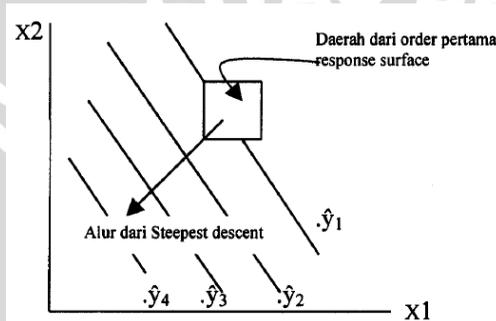
Sementara, model kuadrat adalah :

$$\hat{Y} = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i + \sum_{i=1}^k a_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^{k-1} \sum_{j=2}^k a_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (2.7)$$

di mana a_i dan a_j adalah koefisien regresi.

Pada penduga awal kondisi optimal sering terjadi tidak menjadi titik optimal yang sebenarnya bahkan jauh dari kenyataan, untuk itu dilakukan pencarian titik optimal yang mendekati

kenyataan dengan metode *steepest descent*. Metode ini merupakan suatu prosedur dari pergerakan berurutan sepanjang alur dari *steepest descent* yang menunjukkan penurunan maksimal dari suatu hasil percobaan. Gambar 2.6 menunjukkan suatu daerah perkiraan *response surface* orde pertama yang belum merupakan titik optimal sebenarnya dan akan bergerak menuju titik optimal yang sebenarnya dengan mengikuti alur *steepest descent* yang akan menghasilkan titik optimal.



Gambar 2.6. orde pertama *response surface* dan alur *steepest descent*.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Studi Kasus

Pemeriksaan empiris yang diterapkan terhadap suatu kasus guna mendapatkan informasi-informasi yang dibutuhkan sesuai dengan tujuan dari penelitian yang dilakukan (Yin, 2003).

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Studi kasus dilaksanakan di PT. Philips Indonesia yang beralamat di SIER (*Surabaya Industrial Estate Rungkut*), jalan Berbek Industri I Kav. 5-19, Sidoarjo, Jawa Timur, tanggal 06 Juli 2011 sampai 12 Agustus 2011.

3.3 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer bulan Juli tahun 2011.

3.4 Metode

Metode pertama yang digunakan adalah rancangan faktorial lengkap 2^2 :

1. Faktor pertama, selisih ketebalan dinding maksimum dengan minimum ketebalan dinding bahan baku kaca : taraf rendah (0.01 mm - 0.10 mm) dan taraf tinggi (0.11 mm - 0.20 mm).
2. Faktor kedua, temperatur pemanasan : taraf rendah (400 °C - 448 °C) dan taraf tinggi (449 °C sampai 485 °C).

Percobaan diulang 5 kali dikarenakan pihak perusahaan tidak memperbolehkan melakukan banyak percobaan yang bersifat destruktif.

Metode rancangan faktorial lengkap 2^2 bertujuan untuk mengetahui perbedaan pengaruh dari kombinasi dua faktor pada masing-masing taraf terhadap respon, sedangkan untuk mengetahui kombinasi faktor dan taraf optimal digunakan metode *response optimizer* yang menggunakan pendekatan fungsi *desirability* untuk mendapatkan hasil analisis yang optimal sesuai harapan peneliti.

Metode kedua adalah rancangan *response surface* sebagaimana pada metode rancangan faktorial, menggunakan 2 faktor dengan 2 taraf, yang berbeda hanya pada ulangan, dalam percobaan ini digunakan satu ulangan dikarenakan percobaan ini tergolong percobaan yang kompleks dan perusahaan membatasi ulangan dikarenakan percobaan bersifat destruktif. Faktor dan taraf adalah :

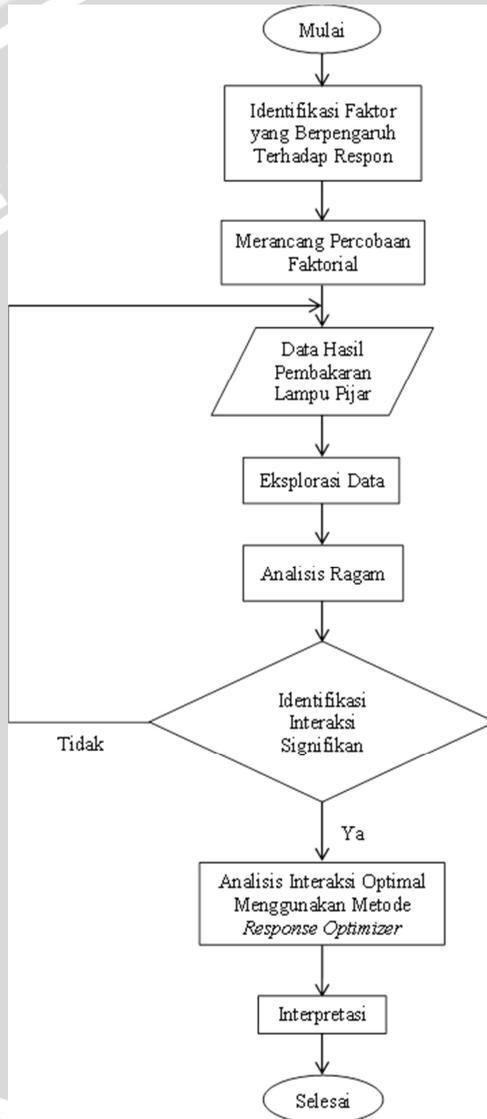
1. Faktor pertama : selisih ketebalan dinding maksimum dengan minimum bahan baku kaca, terdapat 2 taraf. Taraf rendah 0.01 mm dan taraf tinggi 0.17 mm.
2. Faktor kedua : temperatur pemanasan dengan 2 taraf. Taraf rendah adalah pemanasan dengan temperatur 445 °C dan taraf tinggi pemanasan dengan temperatur 485 °C.

Percobaan ini digunakan untuk mencari model kuadratik dengan tujuan mendapatkan titik optimum sehingga dengan percobaan tersebut diharapkan bisa menghasilkan produk yang konsisten dan sesuai harapan perusahaan.



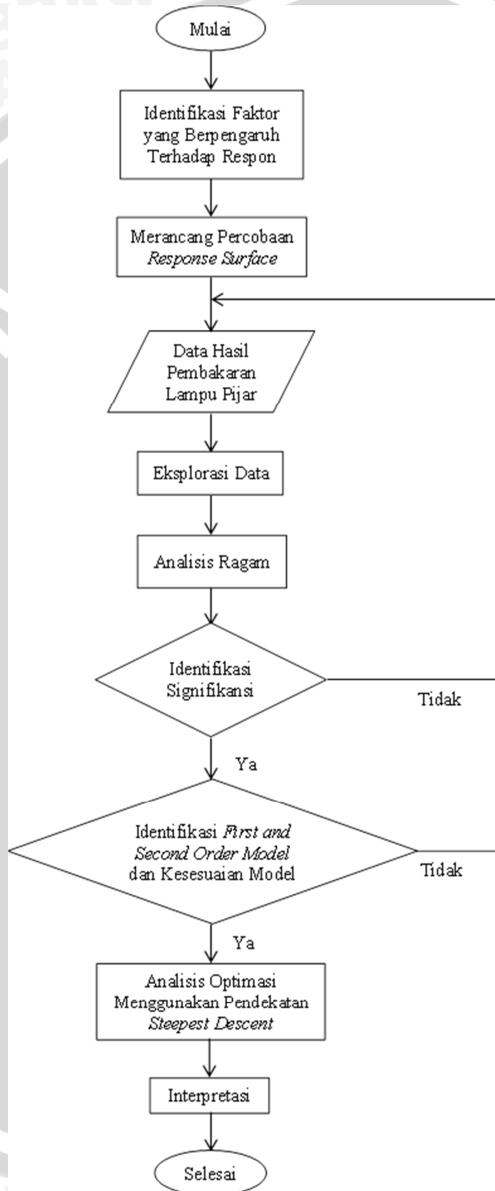
3.5 Diagram Alir

Diagram alir untuk analisis optimasi berdasarkan pendekatan *response optimizer* digambarkan di bawah.



Gambar 3.1. Diagram alir analisis *response optimizer*

Sedangkan diagram alir untuk analisis optimasi berdasarkan pendekatan *steepest descent* adalah sebagaimana berikut,



Gambar 3.2. Diagram alir analisis *response surface*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Faktor yang Berpengaruh

Sebelum dilakukan pengujian, diidentifikasi terlebih dahulu faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon (selisih ketebalan dinding maksimum dengan minimum bahan baku kaca setelah dipanaskan) yaitu faktor selisih ketebalan dinding maksimum dengan minimum bahan baku kaca sebelum dipanaskan dan suhu saat pemanasan, di mana kedua faktor diduga berpengaruh terhadap hasil.

4.2 Analisis Optimasi dengan *Response Optimizer*

4.2.1 Uji Asumsi Analisis Ragam

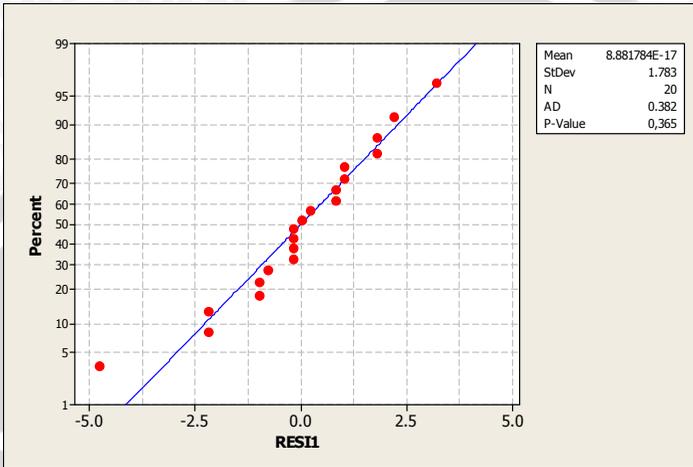
Analisis ragam merupakan teknik statistika dan diperkenalkan oleh R. A Fisher. Oleh karena itu persyaratan-persyaratan yang dikehendaki oleh teknik-teknik tersebut harus dipenuhi agar pemakaiannya terhadap sesuatu gugus data dapat dianggap sah. Persyaratan yang diminta untuk sahnya analisis ragam disebut andaian (asumsi). Adapun persyaratan-persyaratan tersebut yang merupakan asumsi-asumsi yang mendasari suatu analisis ragam, antara lain :

1. Galat percobaan harus menyebar normal.
2. Homogenitas ragam.

Asumsi-asumsi tersebut harus diperhatikan, karena jika tidak dipenuhinya satu atau lebih asumsi dapat mempengaruhi tingkat nyata atau kepekaan dari uji terhadap penyimpangan yang sesungguhnya dari Hipotesis nol.

Pengujian pertama adalah asumsi normalitas yang bertujuan untuk mengecek apakah data penelitian kita berasal dari populasi yang sebarannya normal. Uji ini perlu dilakukan karena semua perhitungan statistik parametrik memiliki asumsi normalitas sebaran. Data yang normal memiliki kekhasan seperti mean, median dan modusnya memiliki nilai yang sama. Hal yang paling merusak asumsi kenormalan ini adalah apabila dilakukan pengacakan yang tidak sesuai dengan prinsip pengacakan suatu rancangan percobaan, hal ini memungkinkan data akan menyebar secara tidak normal.

Pada Gambar 4.1 berikut disajikan hasil uji asumsi kenormalan galat.



Gambar 4.1. Plot uji asumsi kenormalan galat

Dari hasil uji analisis kenormalan galat, dapat diketahui bahwa nilai p (0.365) $>$ α (0.01), sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi kenormalan galat pada kasus ini terpenuhi.

Selanjutnya dilakukan uji homogenitas ragam, jika dalam pengujian tidak terpenuhi pada dasarnya analisis ragam masih bisa dilakukan tanpa mengujinya. Akan tetapi kita tidak tahu apakah ragam populasi sama atau berbeda hal ini akan memaksa kita menganggap ragam sama dan hal ini akan mengakibatkan bias dan memperbesar KT galat karena banyaknya kesalahan pada ragam. Pada Tabel 4.1 disajikan hasil uji asumsi homogenitas ragam.

Tabel 4.1. Uji asumsi homogenitas ragam

	<i>Bartlett's Test</i>
<i>p-value</i>	0.151
<i>Test Statistics</i>	5.310

Dari hasil uji asumsi homogenitas ragam menggunakan *bartlett's test* diketahui nilai p sebesar 0.151 dan lebih besar dari 0.01 , sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi homogenitas pada kasus ini terpenuhi.

4.2.2 Analisis Ragam

Setelah diidentifikasi, dilakukan analisis ragam untuk memastikan bahwa kedua faktor berpengaruh terhadap respon. Berdasarkan data yang tersaji pada Lampiran 1, diketahui bahwa untuk mendapatkan *range* hasil pembakaran yang minimum sangat jelas pada *range* awal 0.01 mm hingga 0.10 mm dengan temperatur antara 449 °C hingga 485 °C, tetapi meskipun diketahui kombinasi perlakuan yang optimal pada level-level tersebut, titik-titik yang pasti optimal dan sesuai harapan untuk menghasilkan produk yang konsisten belum diketahui, sehingga diperlukan optimalisasi menggunakan *response optimizer*.

Sebelum dilakukan optimasi, diuji terlebih dahulu apakah semua faktor dan kombinasi level-levelnya benar-benar memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon, karena itu dilakukan analisis ragam sebagaimana berikut,

Tabel 4.2. Tabel analisis ragam

SK	Db	JK	KT	F _{Hitung}	F _{Tabel}
<i>Range</i>	1	0.0120	0.0120	31.801	4.49
Temperatur	1	0.0224	0.0224	59.457	4.49
Selisih * Temperatur	1	0.0042	0.0042	11.139	4.49
Galat	16	0.0060	0.0004		
Total	19	0.0447			

Berdasarkan Tabel 4.2, diketahui bahwa faktor *range* (selisih ketebalan maksimum dengan minimum sebelum pembakaran), temperatur dan interaksi keduanya memiliki nilai $F_{hitung} > 4.49$ dengan α sebesar 0.01, sehingga dapat disimpulkan bahwa masing-masing faktor secara individu memberikan pengaruh yang signifikan, begitu juga ketika faktor saling berinteraksi.

Pada Tabel 4.2 juga tidak ditemukan adanya faktor yang tidak berpengaruh secara signifikan terhadap respon sehingga galat yang ada hanya akibat perulangan yang menyebabkan adanya variasi acak sehingga memunculkan perbedaan antar nilai respon yang diamati.

Setelah dilakukan analisis ragam didapatkan model persamaan sebagaimana berikut,

$$\hat{y} = 0.0755 + 0.0245\text{Selisih} - 0.0335\text{Temp} - 0.0145(\text{Selisih} * \text{Temp}) \quad (4.1)$$

Setiap model pasti memiliki koefisien yang berguna untuk membangun persamaan yang mewakili hubungan antar respon dan faktor. Dalam penggunaannya nilai-nilai faktor dimasukkan ke dalam model sehingga dapat dihitung respon yang baru sebagai prediksi. Adapun model tersebut didapat dari hasil analisis sebagaimana pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3. Hasil analisis pengaruh faktor dan interaksinya terhadap respon

<i>Term</i>	Koefisien	T	p-value
Constant	0.076	17.380	0.000
<i>Range</i>	0.025	5.640	0.000
Temp	-0.034	-7.710	0.000
Selisih*Temp	-0.015	-3.340	0.004

Dari Tabel 4.3, diketahui ada kolom koefisien, uji T dan nilai p. Kolom koefisien merupakan nilai yang menjelaskan hubungan kekuatan dari pengaruh faktor terhadap respon, misal pada faktor temperatur dengan nilai pengaruh sebesar 0.034, maka nilai tersebut dapat diartikan bahwa temperatur merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap respon, adapun untuk tanda positif dan negatif hanya menunjukkan efek hubungan dari pengaruh faktor terhadap respon, yaitu mengindikasikan bahwa jika faktor temperatur berada pada kondisi *low setting* maka respon yang dihasilkan akan lebih maksimal daripada berada pada kondisi *high setting*, begitu sebaliknya jika pada kondisi nilai pengaruh positif, kondisi *high setting* pada temperatur akan menghasilkan respon minimal daripada kondisi *low setting*, sehingga dapat diartikan bahwa ketika temperatur bertambah 1 °C maka respon (selisih ketebalan maksimum dengan minimum setelah pembakaran) akan berkurang 0.034 mm dengan variabel lain dianggap konstan, begitu juga untuk koefisien *range*, di mana setiap penambahan 0.01 mm selisih

ketebalan dinding maksimum sebelum pembakaran maka respon akan bertambah 0.025 mm dengan variabel lain dianggap konstan, sedangkan koefisien interaksi dapat diartikan ketika selisih ketebalan maksimum dengan minimum dan temperatur meningkat secara bersamaan maka respon akan mengalami penurunan 0.015 mm. Secara deskriptif sebagaimana terlihat pada Lampiran 3 di mana faktor *range*, temperatur dan interaksinya memberikan pengaruh yang signifikan, untuk faktor *range* berpengaruh positif karena terletak di sebelah kanan garis, sedangkan temperatur dan interaksi berpengaruh negatif karena terletak di sebelah kiri garis. Pengaruh positif artinya ketika ada perubahan *setting* dari level rendah ke level tinggi, maka respon yang dihasilkan akan tinggi, sedangkan pengaruh negatif artinya ketika ada perubahan *setting* dari level rendah ke level tinggi, maka respon yang dihasilkan akan rendah, untuk interaksi berpengaruh negatif artinya ketika kedua faktor dalam kondisi *setting* tinggi, maka akan menghasilkan respon yang rendah, sehingga secara umum jika ingin menghasilkan respon rendah, maka *setting* yang harus diperhatikan adalah temperatur, karena temperatur merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap respon, sebagaimana plot interaksi terhadap respon pada lampiran 3.

Dari Tabel 4.3 juga diketahui bahwa semua nilai $p < 0.01$, sehingga dapat disimpulkan bahwa setiap faktor berpengaruh terhadap respon. Adapun besar variasi respon yang dapat dijelaskan oleh model dan kebaikan model dapat meramalkan data yang lain pada kasus dan kondisi yang sama, dari hasil analisis diketahui bahwa nilai koefisien determinasi sebesar 83.95%, hal itu menunjukkan bahwa sebesar 83.95% variasi respon dapat dijelaskan dengan baik oleh model dan sebesar 78.88% kebaikan model saat meramalkan data yang lain pada kasus dan kondisi yang sama. Uji kesesuaian model dapat menunjukkan bahwa model memiliki R-Sq dan R-Sq (pred) yang cukup baik, selain itu tidak adanya *lack of fit* dalam model, maka dapat disimpulkan bahwa model telah sesuai dan analisis bisa dilanjutkan.

4.2.3 Spesifikasi Faktor Maksimal (Ketentuan Perusahaan)

Perusahaan memiliki standar yang berupa faktor, di mana lampu yang dikategorikan baik dan sesuai dengan spesifikasi

memiliki nilai faktor kurang dari 0.5 (50%), jika nilai faktor tersebut melebihi 0.5 maka lampu dikatakan buruk, sebaliknya jika nilai faktor semakin kecil, maka lampu akan semakin baik sedangkan faktor itu sendiri didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan rumus berikut :

$$factor = \frac{\max - \min}{\min} = \frac{range}{\min} \quad (4.2)$$

$$0.5 = \frac{range}{0.38} \rightarrow range = 0.19mm \quad (4.3)$$

Dari perhitungan di atas, dapat ditentukan range maksimum agar bahan baku kaca selalu dikondisikan dalam keadaan yang baik, yaitu memiliki range selebar 0.19 mm.

Pada kenyataan ternyata selama ini *range* selebar 0.19 mm masih terlalu lebar, padahal semakin tipis *range* akan semakin bagus hasilnya, sehingga pihak perusahaan coba menentukan batasan range antara 0.05 mm hingga 0.10 mm, batas bawah dipilih 0.05 mm karena menurut pihak perusahaan seminimal mungkin *range* akan memberikan hasil yang optimal tetapi mendekati 0.00 mm akan melalui proses yang rumit karena akan ada kendala tertentu pada mesin.

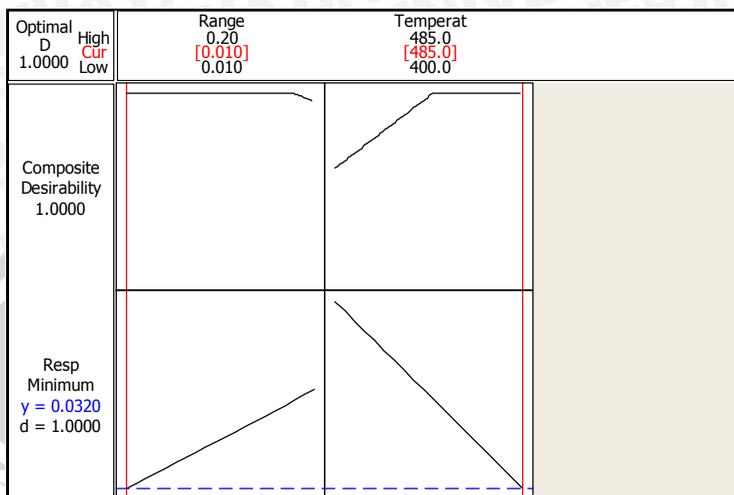
Sehingga acuan target minimalisasi pada *response optimizer* adalah sebagaimana berikut :

1. *Target* = 0.05 mm
2. *Upper Specification* = 0.10 mm

Acuan tersebut digunakan sebagai target yang dimasukkan dalam proses analisis sehingga dengan acuan yang dimasukkan dalam fungsi *desirability* diharapkan dapat menghasilkan suatu kondisi yang tepat sesuai harapan dan selalu konsisten.

4.2.4 Optimasi Menggunakan *Response Optimizer*

Dari hasil analisis didapatkan *setting* optimal yang akan menghasilkan respon sesuai harapan perusahaan, *setting* yang memiliki nilai *optimal desirable* sebesar satu disajikan pada Gambar 4.2 berikut,



Gambar 4.2. Optimasi menggunakan *response optimizer*

Terlihat bahwa *setting* optimal untuk kombinasi perlakuan *range* sebelum pemanasan dengan temperatur menghasilkan *optimal desirability* sebesar satu dengan catatan *range* sebelum pemanasan berkisar antara 0.01 mm hingga 0.17 mm dengan suhu 485 °C, dengan kombinasi tersebut hasil pembakaran akan memiliki *range* semimum mungkin yaitu sebesar 0.032 mm. Tetapi jika suhu rendah yang digunakan, serendah-rendahnya harus pada suhu 445 °C dengan catatan *range* sebelum pemanasan selebar 0.01 mm sehingga dengan kondisi ini *range* hasil setelah pemanasan akan sesuai dengan harapan semaksimal mungkin akan menghasilkan *range* selebar 0.05 mm, oleh karena itu pihak perusahaan harus benar-benar memperhatikan *setting* pada temperatur, karena pada kasus ini temperatur paling berpengaruh, dengan harapan agar mendapatkan hasil yang konsisten dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

4.3 Analisis Optimasi dengan *Response Surface*

4.3.1 Analisis Ragam

Setelah diidentifikasi, dilakukan analisis ragam untuk memastikan bahwa kedua faktor berpengaruh terhadap respon, berdasarkan data yang tersaji pada lampiran 8 dilakukan analisis

ragam untuk mendapatkan model linier sehingga didapatkan hasil sebagaimana pada Tabel 4.4,

Tabel 4.4. Hasil analisis pengaruh faktor dan interaksinya terhadap respon

<i>Term</i>	Koefisien	T	p-value
<i>Constant</i>	0.05462	13.968	0.000
<i>Range</i>	0.05578	11.192	0.000
<i>Temp</i>	-0.01884	-3.780	0.004
<i>Range*Temp</i>	-0.02000	-2.837	0.019

Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui ada kolom, koefisien, T-*Statistics Test* dan nilai p. Setiap model pasti memiliki koefisien yang berguna untuk membangun persamaan yang mewakili hubungan antar respon dan faktor. Dalam penggunaannya nilai faktor dimasukkan ke dalam persamaan sehingga dapat dihitung respon yang baru sebagai prediksi, berikut persamaan model yang dihasilkan,

$$\hat{y} = 0.05462 + 0.05578Range - 0.01884Temp - 0.02(Range*Temp) \quad (4.4)$$

Dari Tabel 4.4 juga diketahui bahwa semua nilai $p < 0.05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa setiap faktor berpengaruh terhadap respon.

Tabel 4.5. Tabel analisis ragam

SK	db	JK	KT	F _{Hitung}	p-value
Regresi	3	0.029334	0.009778	49.20	0.000
Linier	2	0.027734	0.013867	69.77	0.000
Interaksi	1	0.001600	0.001600	8.05	0.019
Galat	9	0.001789	0.000199		
<i>Lack-of-Fit</i>	5	0.001709	0.000342	17.09	0.008
Galat Murni	4	0.000080	0.000020		
Total	12	0.031123			

Berdasarkan Tabel 4.5 diketahui bahwa faktor utama dan interaksinya memiliki nilai p kurang dari 0.05 sehingga dapat

disimpulkan bahwa masing-masing faktor secara individu memberikan pengaruh yang signifikan, begitu juga ketika faktor saling berinteraksi.

Pada Tabel 4.5 ditemukan adanya *lack of fit* dengan nilai p kurang dari 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa model tidak cocok dengan data yang dicobakan, sehingga perlu dicari model lain dari data yang benar-benar memenuhi uji kesesuaian model.

Dari data yang disajikan pada Lampiran 8 dilakukan analisis ragam selanjutnya untuk mendapatkan model kuadrat dengan tujuan untuk mendapatkan model yang benar-benar cocok dengan data yang ada, sehingga didapatkan hasil sebagaimana pada Tabel 4.6,

Tabel 4.6. Hasil analisis pengaruh faktor dan interaksi terhadap respon

Term	Koefisien	T	P
Constant	0,04800	19,680	0,000
Range	0,05578	28,931	0,000
Temp	-0,01884	-9,770	0,000
Range*Range	0,01413	6,831	0,000
Temp*Temp	-0,00338	-1,632	0,147
Range*Temp	-0,02000	-7,334	0,000

Berdasarkan Tabel 4.6 didapatkan model kuadrat yang berguna untuk mencari titik optimal sehingga didapatkan respon yang konsisten dan sesuai dengan harapan, adapun modelnya sebagaimana pada persamaan 4.5 berikut,

$$\hat{y} = 0.048 + 0.05578Range - 0.01884Temp + 0.01413Range^2 - 0.00338Temp^2 - 0.02Range*Temp \quad (4.5)$$

Tabel 4.7 berikut merupakan tabel analisis ragam sekaligus untuk mengetahui apakah model pada persamaan 4.5 benar-benar cocok dengan data yang ada,

Tabel 4.7. Tabel analisis ragam

SK	Db	JK	KT	F _{Hitung}	P
Regresi	5	0.030915	0.006183	207.87	0.000
Linier	2	0.027734	0.013867	466.22	0.000
Kuadratik	2	0.001581	0.000790	26.57	0.001
Interaksi	1	0.001600	0.001600	53.79	0.000
Galat	7	0.000208	0.000030		
<i>Lack-of-Fit</i>	3	0.000128	0.000043	2.14	0.238
Galat Murni	4	0.000080	0.000020		
Total	12	0.031123			

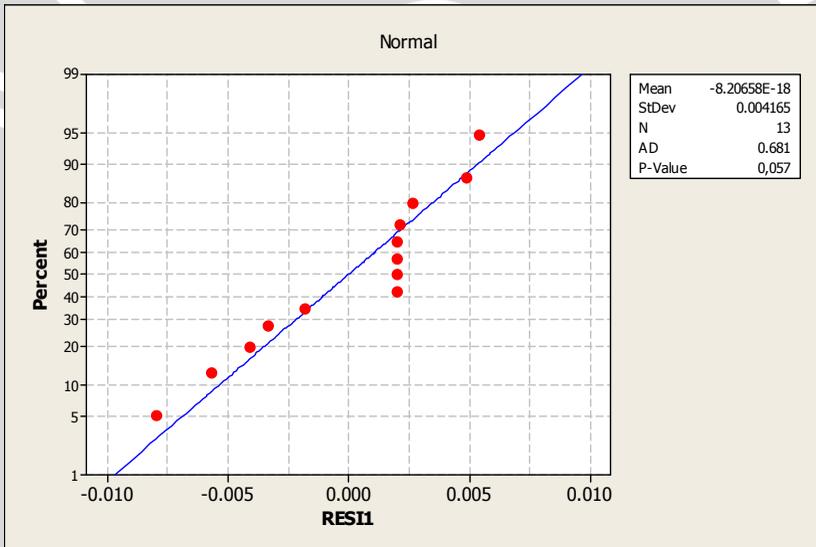
Dari Tabel 4.7 diketahui bahwa model linier, kuadratik dan interaksi memiliki nilai p kurang dari 0.05, sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor secara keseluruhan memberikan pengaruh yang signifikan, begitu juga ketika faktor saling berinteraksi.

Pada Tabel 4.7 ditemukan adanya *lack of fit* dengan nilai p lebih besar dari 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa model telah cocok dengan data yang dicobakan, sehingga model bisa digunakan untuk mencari titik optimal.

Besar variasi respon yang dapat dijelaskan oleh model dan seberapa baik model dapat meramalkan data yang lain pada kasus dan kondisi yang sama, dari hasil analisis diketahui bahwa nilai koefisien determinasi sebesar 98.85%, hal itu menunjukkan bahwa sebesar 98.85% variasi respon dapat dijelaskan dengan baik oleh model dan sebesar 96.67% kebaikan model saat meramalkan data lain pada kasus dan kondisi yang sama. Uji kesesuaian model dapat menunjukkan bahwa model memiliki koefisien determinasi yang cukup baik, selain itu nilai p dari *lack of fit* pada model yang lebih besar dari 0.05, maka dapat disimpulkan bahwa model tersebut telah sesuai dan analisis optimasi bisa dilanjutkan.

4.3.2 Asumsi Kenormalan Galat

Uji normalitas adalah uji yang dilakukan untuk mengecek apakah data penelitian berasal dari populasi yang sebarannya normal. Uji ini perlu dilakukan karena semua perhitungan statistik parametrik memiliki asumsi normalitas sebaran. Data yang normal memiliki kekhasan seperti mean, median dan modusnya memiliki nilai yang sama. Hal yang paling merusak asumsi kenormalan ini adalah apabila dilakukan pengacakan yang tidak sesuai dengan prinsip pengacakan suatu rancangan percobaan, hal ini memungkinkan data akan menyebar secara tidak normal. Pada gambar 4.3 disajikan hasil uji asumsi kenormalan galat.

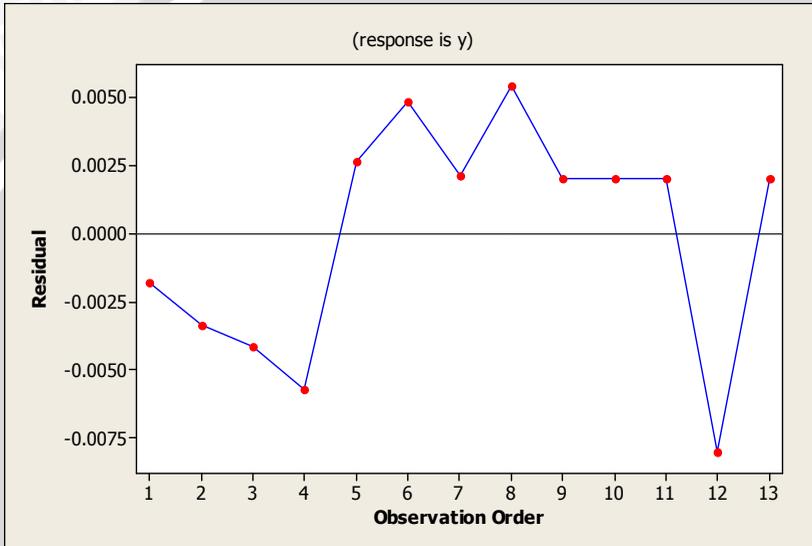


Gambar 4.3. Plot uji asumsi kenormalan galat

Dari hasil uji analisis kenormalan galat, dapat diketahui bahwa nilai $P (0.0575) > \alpha (0.05)$, sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi kenormalan galat pada kasus ini terpenuhi.

4.3.3 Asumsi Kebebasan Galat

Satu dari asumsi penting dari analisis variansi adalah bahwa kesalahan atau gangguan ϵ_i yang masuk kedalam fungsi analisis variansi adalah random atau tak berkorelasi. Pada Gambar 4.4 berikut disajikan hasil uji asumsi kebebasan galat.



Gambar 4.4. Plot uji asumsi kebebasan galat

Dari plot di atas diketahui bahwa plot tersebut benar-benar acak dan tidak membentuk suatu pola tertentu, sehingga asumsi kebebasan galat sudah terpenuhi.

4.3.4 Analisis Titik Optimum dengan Pendekatan *Steepest Descent*

Langkah pertama adalah menentukan daerah optimum, di mana penentuannya tergantung dengan keinginan peneliti atau perusahaan yang bersangkutan, bahkan bisa juga dilakukan percobaan pendahulu untuk mengetahui kondisi yang optimal, lebih tepatnya dipilih daerah yang benar-benar menghasilkan tingkat produksi cacat paling minimum, pada kasus ini penentuan daerah untuk *range* antara 0.01 mm hingga 0.17 mm dengan temperatur

antara 445 °C hingga 485 °C. Tabel 4.8 merupakan rincian kode dari level-level pada daerah optimum.

Tabel 4.8. Kode level pada daerah optimum

Kode	-1 (<i>Low</i>)	0 (<i>Middle</i>)	1 (<i>High</i>)
<i>Range</i>	0.01 mm	0.09 mm	0.17 mm
<i>Temp</i>	445 °C	465 °C	485 °C

Setelah daerah optimum ditentukan, untuk mencari titik optimum dari daerah tersebut digunakan model kuadratik yang telah dinyatakan sesuai dengan data, sebagaimana pada persamaan berikut,

$$\hat{y} = 0.048 + 0.05578Range - 0.01884Temp + 0.01413Range^2 - 0.00338Temp^2 - 0.02Range * Temp$$

dari persamaan 4.5 dibuat matriks :

$$\underset{\sim}{b} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix}, \underset{\sim}{B} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12}/2 \\ \beta_{21}/2 & \beta_{22} \end{bmatrix}$$

β_1 merupakan koefisien *range* dan β_2 koefisien dari temperatur, sehingga matriks b adalah sebagaimana berikut,

$$\underset{\sim}{b} = \begin{bmatrix} 0.05578 \\ -0.01884 \end{bmatrix}, \underset{\sim}{B} = \begin{bmatrix} 0.01413 & -0.01 \\ -0.01 & -0.00338 \end{bmatrix}$$

Matriks b dan matriks B dimasukkan dalam persamaan matriks X_s sebagaimana berikut,

$$\underset{\sim}{X}_s = \left(-\frac{1}{2} \right) \times \underset{\sim}{B}^{-1} \times \underset{\sim}{b}$$

Sehingga didapatkan matriks X_s :

$$\tilde{X}_s = \begin{bmatrix} -1.27551 \\ 0.98671 \end{bmatrix}$$

Matriks X_s selanjutnya digunakan untuk mencari titik optimum, sebagaimana berikut,

$$-1.27551 = \frac{\text{Range} - 0.09}{0.08}$$

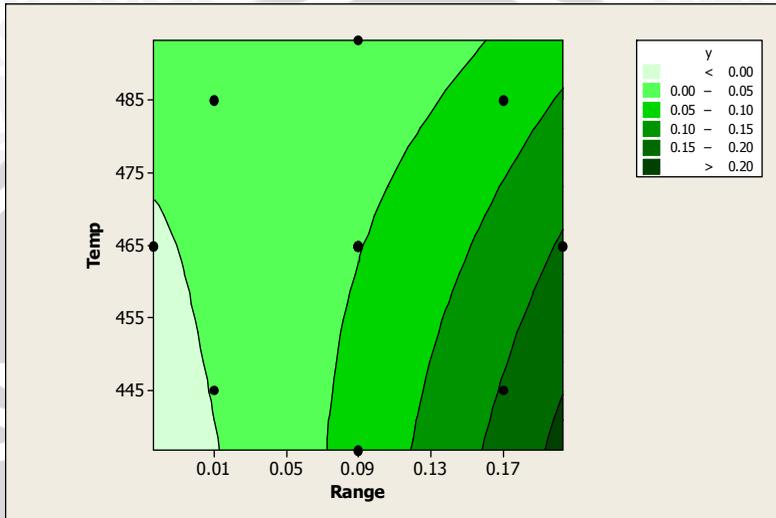
$$\text{Range} = -0.0120408 \equiv 0.012 \text{ mm}$$

$$0.98671 = \frac{\text{Temp} - 465}{20}$$

$$\text{Temp} = 484.734$$

Dari perhitungan di atas didapatkan titik optimal yang bisa menghasilkan respon semimum mungkin sesuai dengan harapan perusahaan adalah *setting* dengan *range* 0.012 mm dan temperatur sebesar 484.734 °C.

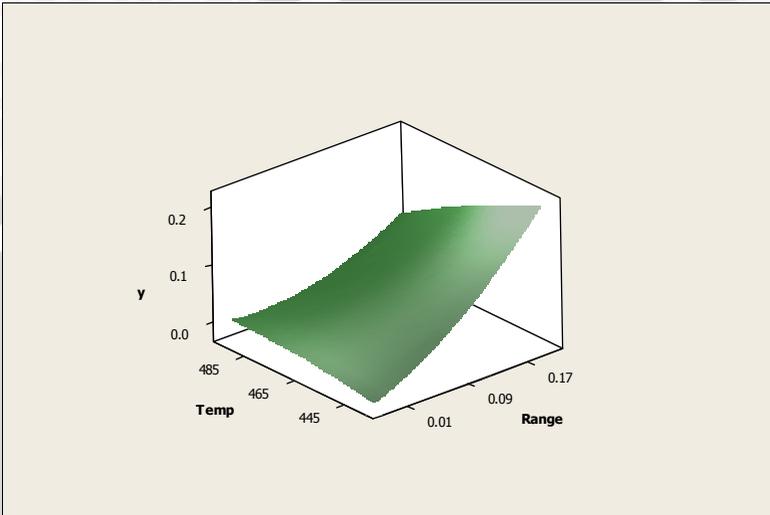
Secara visual, daerah-daerah optimal disajikan dari *surface plot* dan *contour plot* sebagaimana pada Gambar 4.5 dan 4.6 berikut,



Gambar 4.5. *Contour plot* hubungan antara faktor terhadap respon

Dari Gambar 4.5 diketahui bahwa warna yang paling gelap merupakan kondisi *range* setelah pembakaran lebar, sedangkan warna yang lebih terang merupakan kondisi *range* setelah pembakaran sempit, sehingga dapat diketahui bahwa semakin tebal *range* (sebelum pemanasan) diinteraksikan dengan temperatur yang rendah akan menghasilkan *range* setelah pemanasan yang lebar dan sebaliknya.

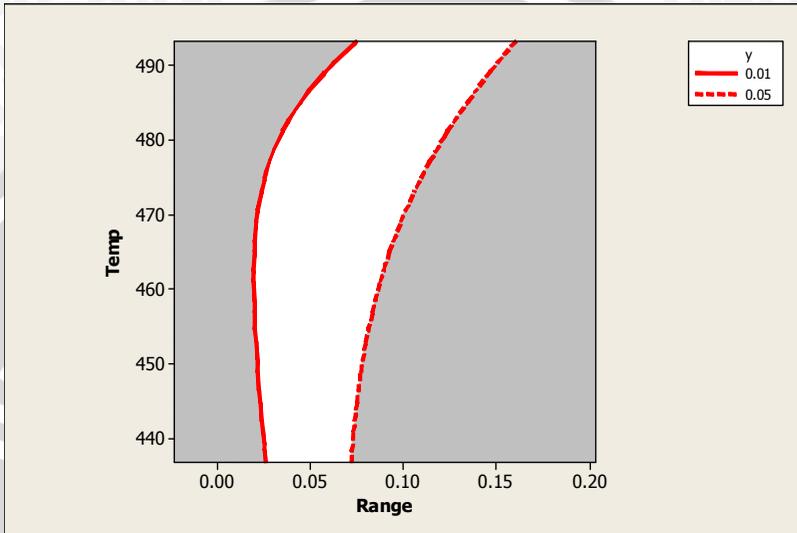
Sebagaimana pada *contour plot*, hanya saja *surface plot* ditampilkan dalam bentuk 3D, selain itu *surface plot* menampilkan daerah visual yang terbentuk dari model kuadratik.



Gambar 4.6. *Surface plot* hubungan antara faktor terhadap respon

Dari Gambar 4.6 juga diketahui bahwa semakin tebal *range* dengan temperatur rendah maka respon yang dihasilkan akan maksimal, kecuali interaksi antara *range* dan temperatur pada level paling rendah maka akan menghasilkan respon yang minimum.

Pada Gambar 4.7 berikut merupakan *feasible solutions* untuk menghasilkan respon sesuai dengan harapan.



Gambar 4.7. Daerah respon optimal

Gambar 4.7 menunjukkan daerah optimal (daerah berwarna putih) untuk menghasilkan respon sesuai dengan harapan perusahaan, respon yang diterima adalah memiliki ketebalan *range* antara 0.01 mm hingga 0.05 mm; dari Gambar 4.7 juga dapat diketahui *setting* yang dapat menghasilkan respon sesuai dengan harapan.

4.4 Perbandingan *Response Optimizer* dan *Response Surface Method*

Kedua metode optimasi memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, adapun rincian kedua metode optimasi adalah sebagaimana pada tabel berikut,

Tabel 4.9. Rincian dua metode optimasi.

No.	Teknik Optimasi	
	<i>Response Optimizer</i>	<i>Optimasi Response Surface</i>
1	Bisa digunakan terhadap percobaan <i>multi response</i> .	Cukup rumit jika diterapkan terhadap percobaan <i>multi response</i> .
2	Hasil bisa berupa daerah optimal sekaligus titik optimal dalam sekali perhitungan.	Daerah optimal ditentukan dengan model linier, sedangkan titik optimal ditentukan dengan model kuadratik.
3	Percobaan bisa dilakukan seminimal mungkin dengan ulangan.	Butuh percobaan yang lebih kompleks dan lebih membutuhkan biaya.
4	Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan faktorial khusus 2^k (<i>full factorial</i> atau <i>fractional factorial</i>), rancangan <i>response surface</i> dan rancangan <i>mixture</i> .	Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan <i>response surface</i> .
5	Perhitungan lebih mudah.	Perhitungan sedikit lebih rumit.
6	Sama-sama menghasilkan <i>setting</i> optimal sesuai dengan keinginan peneliti.	

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil analisis menggunakan *response optimizer* didapat kondisi terbaik adalah saat suhu pembakaran 485°C dengan *range* sebelum pembakaran 0.01 mm, diperoleh hasil pembakaran *range* ketebalan dinding lampu 0.032 mm.

Hasil analisis menggunakan metode *steepest descent* didapat kondisi terbaik adalah saat suhu pembakaran 484.73°C dengan *range* sebelum pembakaran 0.012 mm dan hasil pembakaran ketebalan dinding lampu memiliki *range* 0.015 mm.

Kedua metode tersebut akan menghasilkan *range* ketebalan dinding lampu (hasil setelah pemanasan) yang konsisten sehingga dengan adanya metode tersebut perusahaan bisa menghasilkan produk yang sesuai dengan harapan.

5.2 Saran

Untuk menghasilkan produk yang benar-benar optimal perusahaan seharusnya memperhatikan temperatur secara intensif, karena dalam masalah ini temperatur memberikan pengaruh yang besar.

Untuk pembaca jika ingin melakukan analisis seperti ini hendaknya saat identifikasi perlakuan yang berpengaruh terhadap respon harus bisa menentukan perlakuan yang berhubungan dengan respon agar hasilnya bisa akurat, jika memungkinkan lakukan analisis terhadap data yang berbeda dengan kasus dan kondisi yang sama untuk mengetahui apakah analisis tersebut hanya kebetulan atau benar-benar analisis yang diharapkan. Selain itu dalam menentukan bobot pada analisis (*desirability function*) harus bisa memilih sesuai dengan kasus.

Dengan adanya perbandingan dua metode optimasi seperti yang dibahas pada penelitian ini, hendaknya pembaca harus pintar dalam memilih metode mana yang akan diterapkan pada suatu kasus optimasi lainnya, karena masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga dalam memilih metode untuk menyelesaikan kasus harus disesuaikan dan dipertimbangkan sesuai

dengan kebutuhan dan paling penting tingkat kerumitan serta biaya dalam pengerjaannya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Box, G. E. P and Draper, N. R. 1987. *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. John Wiley and Sons. Canada.
- Cornell and Khuri. 1987. *Response Surfaces: Designs and Analysis*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Damayanti, Ika. 2009. Jurnal Rancangan Faktorial (*Factorial Design*). http://notesofika.files.wordpress.com/2010/06/7-ed_rancangan-faktorial.pdf.
- Derringer, G. And Suich, R. 2002. *Simultaneous Optimization of Several Response Variables*. *Journal of Quality Technology*, Vol 12. Pp. 214-219.
- Engineering Statistics Handbook* . 2004. *NIST/SRMATECH e-Handbook of Statistic Methods*, <http://www.itl.nist.gov/aiv898/handbook>.
- Montgomery, Douglas, C. 1997. *Design and Analysis of Experiments, 4th edition*. Wiley. New York.
- _____. 2001. *Design and Analysis of Experiments 5th Edition*. John Willey and Sons : Singapore.
- _____. 2005. *Design and Analysis of Experiments 6th Edition*. John Willey and Sons : New York.
- Ramsey, P. 2005. *Multiple Optimization Using the JMP Statistical Software*. *Kodak Research Conference : North Haven Group, LLC*.
- Yin, R. 2003. *Applications of Case Study Research 2nd Edition*. Sage Publication. London.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

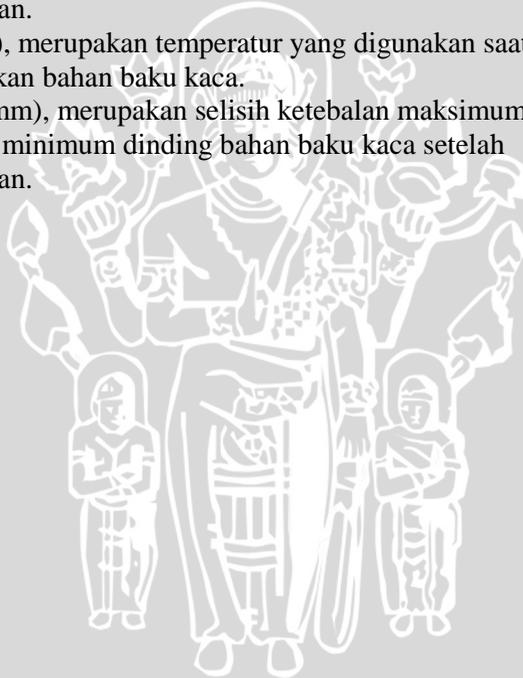


Lampiran 1. Data 1 (Rancangan Percobaan Faktorial Khusus 2^k)

<i>Range</i> (mm)	<i>Temp</i> (°C)	Ulangan				
		1	2	3	4	5
0.01-0.10	400-448	0.08	0.06	0.08	0.07	0.06
	449-485	0.01	0.03	0.03	0.05	0.04
0.11-0.20	400-448	0.18	0.14	0.10	0.15	0.17
	449-485	0.03	0.07	0.05	0.06	0.05

Keterangan :

- *Range* (mm), merupakan selisih ketebalan maksimum dengan ketebalan minimum dinding bahan baku kaca sebelum pembakaran.
- *Temp* (°C), merupakan temperatur yang digunakan saat memanaskan bahan baku kaca.
- *Respon* (mm), merupakan selisih ketebalan maksimum dengan ketebalan minimum dinding bahan baku kaca setelah pembakaran.



Lampiran 2. Hasil Analisis Ragam Pada Data 1

Factorial Fit: Resp versus Range; Temp

Estimated Effects and Coefficients for Resp (coded units)

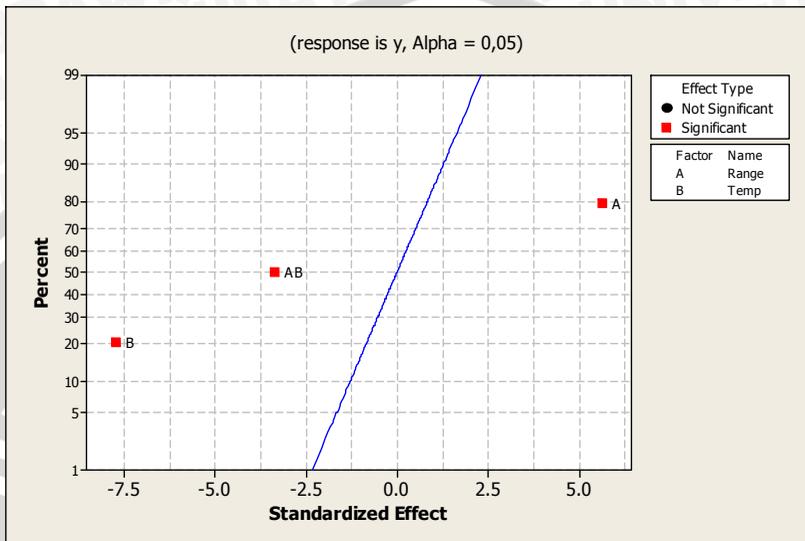
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,07550	0,004345	17,38	0,000
Range	0,04900	0,02450	0,004345	5,64	0,000
Temp	-0,06700	-0,03350	0,004345	-7,71	0,000
Range*Temp	-0,02900	-0,01450	0,004345	-3,34	0,004

S = 0,0194294 PRESS = 0,0094375
 R-Sq = 86,49% R-Sq(pred) = 78,88% R-Sq(adj) = 83,95%

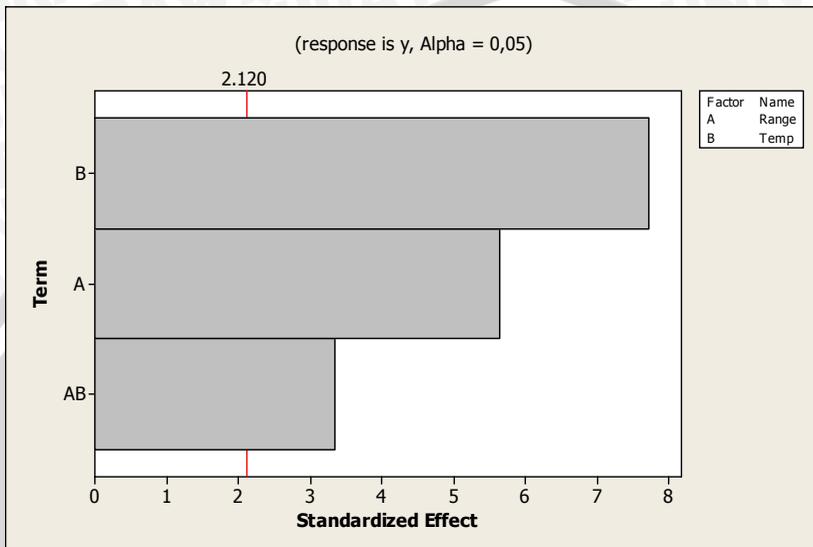
Analysis of Variance for Resp (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0,03445	0,03445	0,017225	45,63	0,000
2-Way Interaction	1	0,00421	0,00421	0,004205	11,14	0,004
Residual Error	16	0,00604	0,00604	0,000378		
Pure Error	16	0,00604	0,00604	0,000378		
Total	19	0,04469				

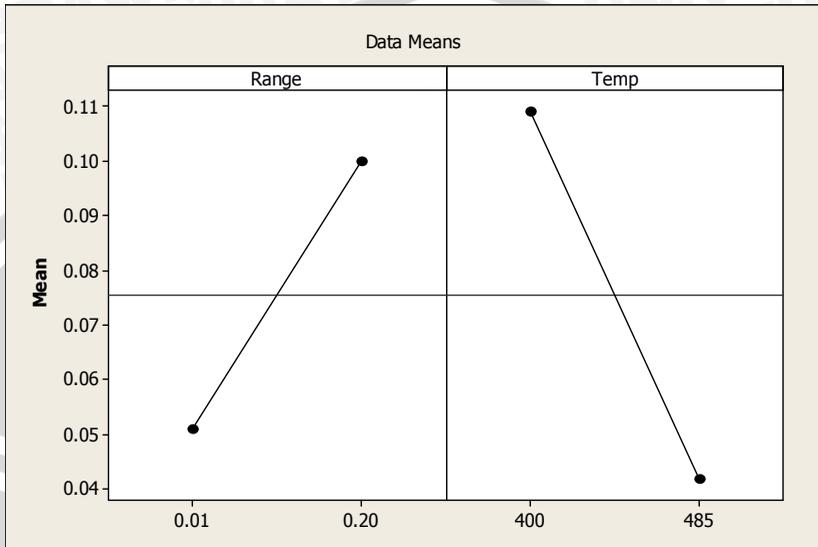
Lampiran 3. Analisis Pengaruh Pada Setiap Perlakuan



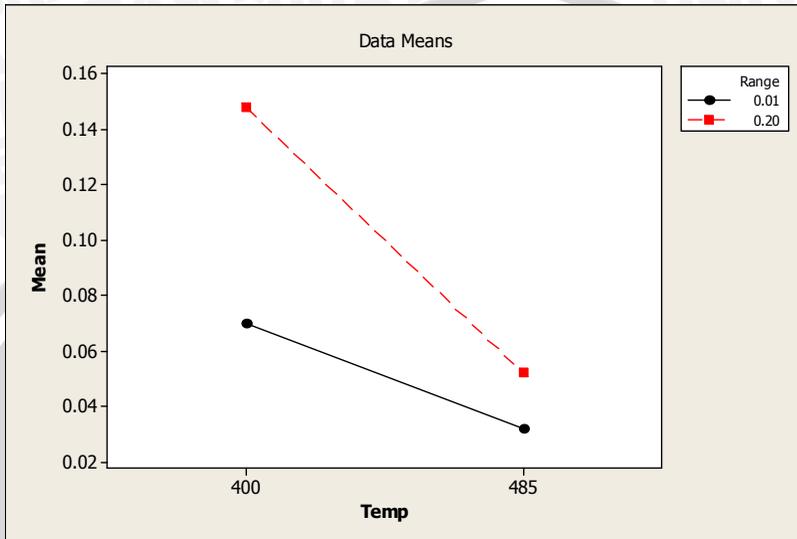
Lampiran 3. Lanjutan



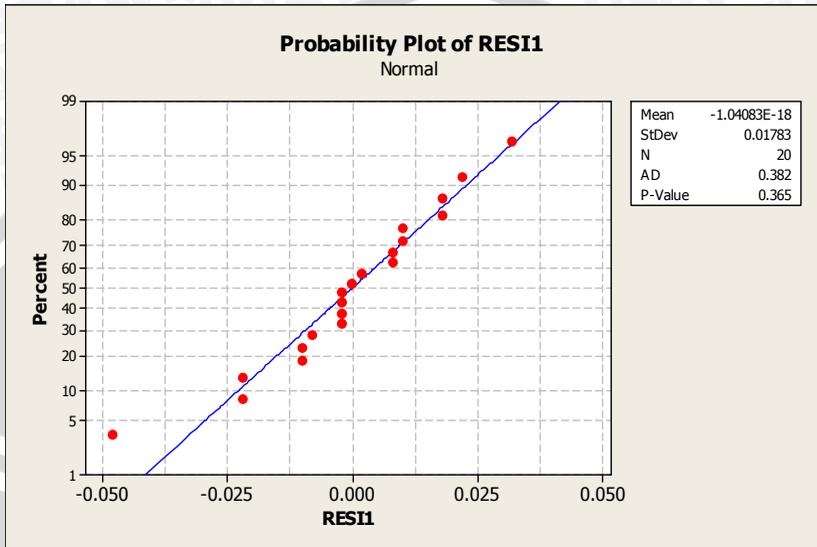
Lampiran 3. Lanjutan



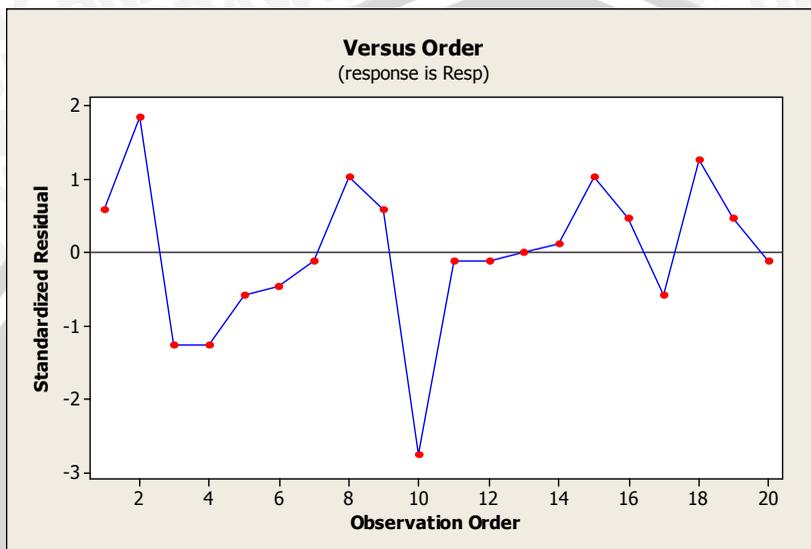
Lampiran 3. Lanjutan



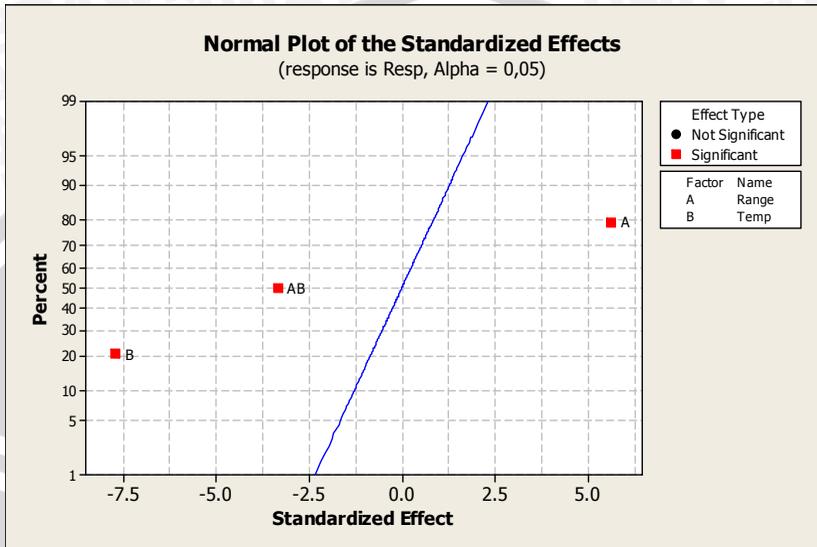
Lampiran 4. Probability Plot of Residual



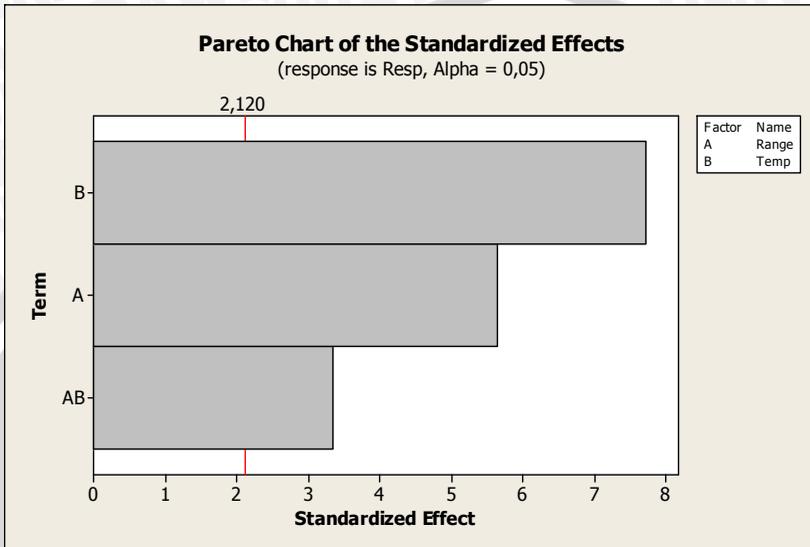
Lampiran 5. Residual Versus Order Plot (Uji Asumsi Kebebasan Galat)



Lampiran 6. Normal Plot of the Standardized Effects



Lampiran 7. Pareto Chart of the Standardized Effects



Lampiran 8. Optimasi Respon Menggunakan Metode Response Optimizer

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Resp	Minimum	0,05	0,05	0,1	1	1

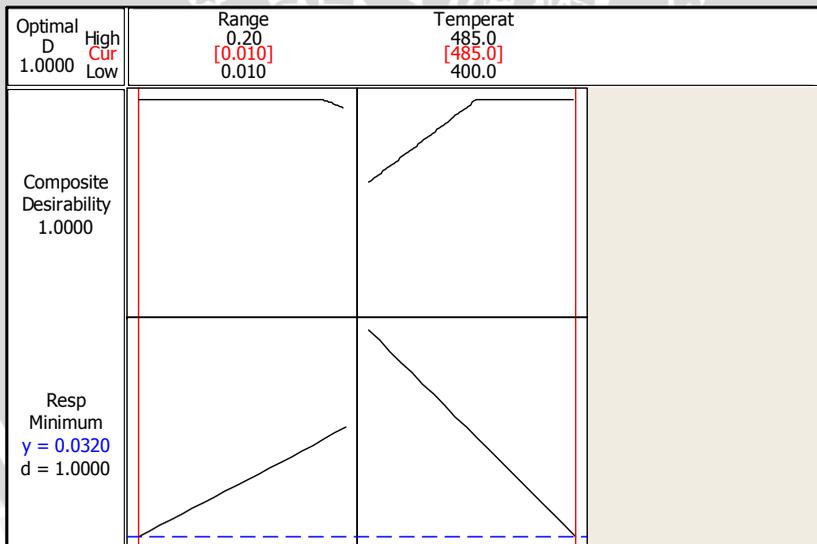
Global Solution

Range = 1
Temp = 485

Predicted Responses

Resp = 0,032 , desirability = 1,000000

Composite Desirability = 1,000000



Lampiran 9. Data 2 (Rancangan Percobaan Permukaan Respon)

Range (mm)	Temp (⁰C)	Respon
0.01	445	0.00
0.17	445	0.15
0.01	485	0.00
0.17	485	0.07
0.02	465	0.00
0.20	465	0.16
0.09	436	0.07
0.09	493	0.02
0.09	465	0.05
0.09	465	0.05
0.09	465	0.05
0.09	465	0.04
0.09	465	0.05

Keterangan:

- *Range* (mm), merupakan selisih ketebalan maksimum dengan ketebalan minimum dinding bahan baku kaca sebelum pembakaran.
- *Temp* (⁰C), merupakan temperatur yang digunakan saat memanaskan bahan baku kaca.
- *Respon* (mm), merupakan selisih ketebalan maksimum dengan ketebalan minimum dinding bahan baku kaca setelah pembakaran.

Lampiran 10. Hasil analisis Ragam Pada Data 2 (First Order)

Response Surface Regression: y versus Range; Temp (Interaction)

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for y

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,05462	0,003910	13,968	0,000
Range	0,05578	0,004984	11,192	0,000
Temp	-0,01884	0,004984	-3,780	0,004
Range*Temp	-0,02000	0,007049	-2,837	0,019

S = 0,0140980 PRESS = 0,00366811
R-Sq = 94,25% R-Sq(pred) = 88,21% R-Sq(adj) = 92,34%

Analysis of Variance for y

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	0,029334	0,029334	0,00978	49,20	0,000
Linear	2	0,027734	0,027734	0,01387	69,77	0,000
Interaction	1	0,001600	0,001600	0,00160	8,05	0,019
Residual Error	9	0,001789	0,001789	0,000199		
Lack-of-Fit	5	0,001709	0,001709	0,000342	17,09	0,008
Pure Error	4	0,000080	0,000080	0,00002		
Total	12	0,031123				

Lampiran 11. Hasil analisis Ragam Pada Data 2 (Second Order)

Response Surface Regression: y versus Range; Temp (Full Quadratic)

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for y

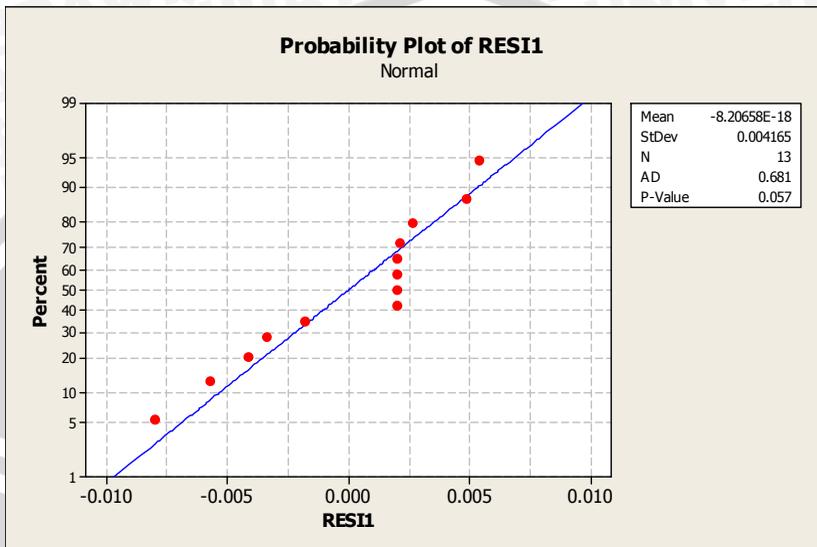
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,048000	0,002439	19,680	0,000
Range	0,055784	0,001928	28,931	0,000
Temp	-0,018839	0,001928	-9,770	0,000
Range*Range	0,014125	0,002068	6,831	0,000
Temp*Temp	-0,003375	0,002068	-1,632	0,147
Range*Temp	-0,020000	0,002727	-7,334	0,000

S = 0,00545379 PRESS = 0,00103669
 R-Sq = 99,33% R-Sq(pred) = 96,67% R-Sq(adj) = 98,85%

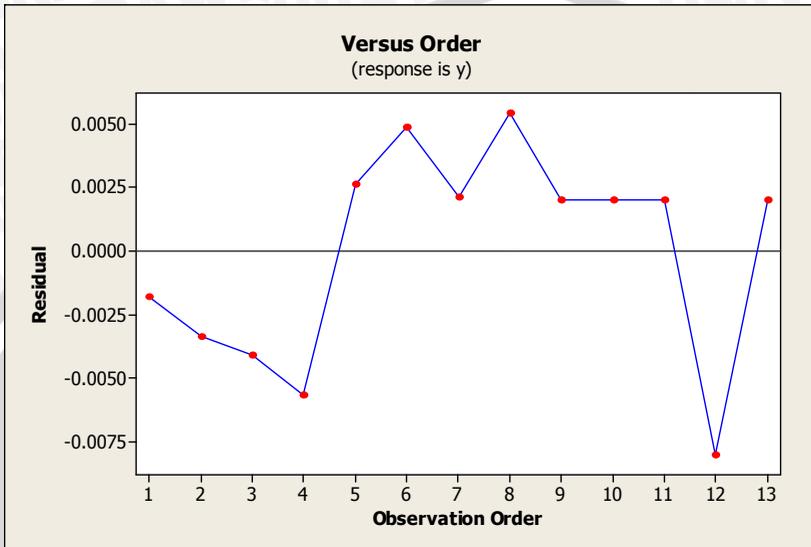
Analysis of Variance for y

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0,030915	0,030915	0,00618	207,87	0,000
Linear	2	0,027734	0,027734	0,01387	466,22	0,000
Square	2	0,001581	0,001581	0,00079	26,57	0,001
Interaction	1	0,001600	0,001600	0,00160	53,79	0,000
Residual Error	7	0,000208	0,000208	0,00003		
Lack-of-Fit	3	0,000128	0,000128	0,00004	2,14	0,238
Pure Error	4	0,000080	0,000080	0,00002		
Total	12	0,031123				

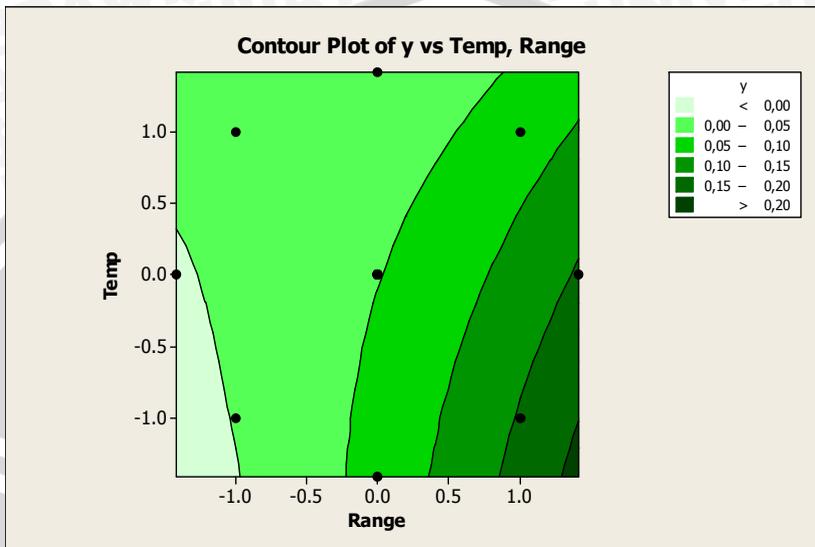
Lampiran 12. Probability Plot of Residual



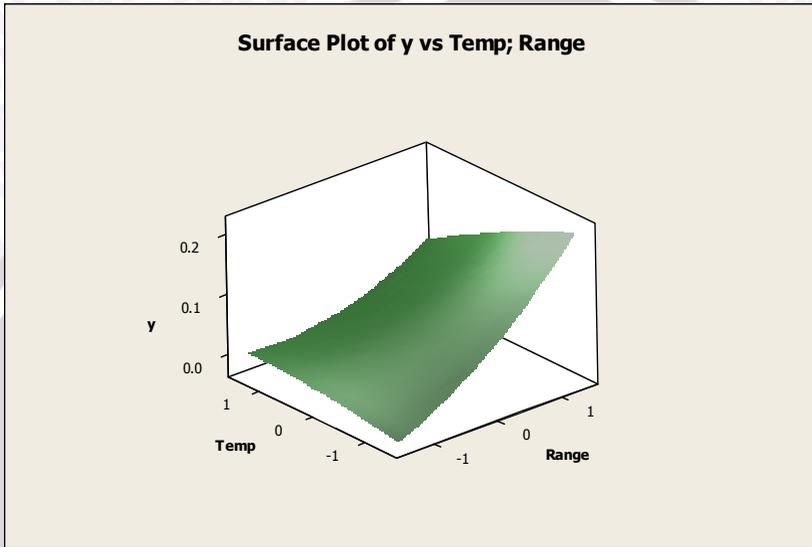
Lampiran 13. Versus Order Plot (Uji Asumsi Kebebasan Galat)



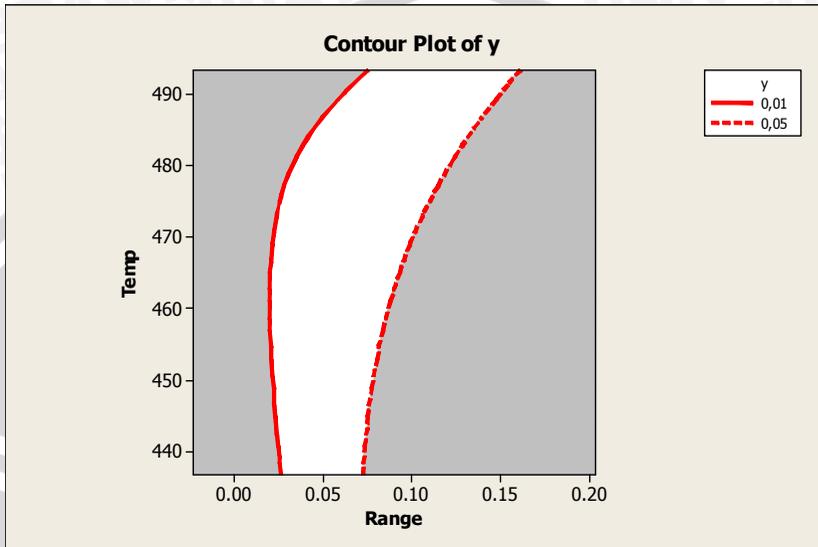
Lampiran 14. Contour Plot Respon Terhadap Temperatur dan Range



Lampiran 15. Plot Permukaan Respon terhadap Temperatur dan Range



Lampiran 16. Contour Plot of Response



Lampiran 17. Perhitungan Titik-Titik Optimal dengan Pendekatan Steepest Descent

$$\hat{y} = 0.048 + 0.05578Range - 0.01884Temp + 0.01413Range^2 - 0.00338Temp^2 - 0.02Range*Temp$$

$$b = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12}/2 \\ \beta_{21}/2 & \beta_{22} \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 0.05578 \\ -0.01884 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0.01413 & -0.01 \\ -0.01 & -0.00338 \end{bmatrix}$$

$$X_s = \left(-\frac{1}{2} \right) \cdot B^{-1} \cdot b$$

$$X_s = \begin{bmatrix} -1.27551 \\ 0.98671 \end{bmatrix}$$

$$-1.27551 = \frac{Range - 0.09}{0.08}$$

$$Range = -0.0120408 \equiv 0.012 \text{ mm}$$

$$0.98671 = \frac{Temp - 465}{20}$$

$$Temp = 484.734 \text{ } ^\circ\text{C}$$

