



TUGAS AKHIR - SS 141501

OPTIMASI MULTIRESPON UNTUK RANCANGAN MIXTURE PADA PEMBUATAN PEREKAT BODY MOBIL LISTRIK BASED PVAc (Polyvinil Asetat)

Rizqi Ilman Mubarak
NRP 1311 100 105

Dosen Pembimbing
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

Program Studi S1 Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



TUGAS AKHIR - SS141501

OPTIMASI MULTIRESPON UNTUK RANCANGAN MIXTURE PADA PEMBUATAN PEREKAT BODY MOBIL LISTRIK BASED PVAc (Polyvinil Asetat)

Rizqi Ilman Mubarak
NRP 1310 100 105

Dosen Pembimbing
Dra. Lucia Aridinanti , M.T.

Program Studi S1 Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - SS091324

OPTIMIZATION MULTIRESPONSE FOR MIXTURE EXPERIMENT IN SYNTHESIS POLYVINIL ACETATE ADHESIVE OF ELECTRIC CAR

Rizqi Ilman Mubarok
NRP 1310 100 105

Supervisor
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

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

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI MULTIRESPON UNTUK RANCANGAN MIXTURE PADA PEMBUATAN PEREKAT BODY MOBIL LISTRIK BASED PVAc (Polyvinil Asetat)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

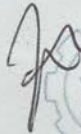
Program Studi S-1 Jurusan Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIZQI ILMAN MUBAROK
NRP. 1311 100 105

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dra. Lucia Aridinanti, M.T.
NIP. 19610131 198701 2 001

()

Mengetahui,
Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS

Dr. Muhammad Mashuri, MT.
NIP. 19620408 198701 1 001

SURABAYA, JULI 2015



OPTIMASI MULTIRESPON UNTUK RANCANGAN MIXTURE PADA PEMBUATAN PEREKAT BODY MOBIL LISTRIK BASED PVAc (Polyvinil Asetat)

Nama Mahasiswa : Rizqi Ilman Mubarok
NRP : 1311 100 105
Jurusan : Statistika FMIPA-ITS
Dosen Pembimbing : Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

Abstrak

Berbeda dengan mobil pada umumnya, bobot mobil listrik memiliki bobot yang ringan supaya efisien dalam pemakaian energi. Untuk mencapai bobot yang ringan maka dalam digunakan bahan baku styrofoam sebagai lapisan body mobil. Untuk merekatkan styrofoam dengan body mobil listrik digunakan sebuah perekat yaitu perekat PVAc yang terbuat dari bahan-bahan yaitu PVA, VAM, Surfaktan, Sodium Bikarbonat, Ammonium persulfat, Dibutil Phtalat, dan pelarut air. Perekat PVAc yang digunakan seringkali menggunakan air sebagai pelarut dalam pembuatannya, dimana perekat PVAc berbasis pelarut air biasa digunakan untuk merekatkan kayu sehingga dianggap kurang cocok jika digunakan untuk merekatkan body mobil listrik. Kualitas perekat dapat ditingkatkan dengan mengganti pelarut air dengan pelarut lain. Dalam penelitian ini akan dilakukan optimasi perekat PVAc menggunakan pelarut air dan pelarut metanol dengan metode mixture design dan fungsi desirability. Pelarut merupakan variabel prediktor dan kualitas perekat PVAc berdasarkan strain, modulus elastisitas dan viskositas yang merupakan variabel respon. Pada penelitian ini terdapat lima sampel percobaan dengan proporsi air dan metanol yang berbeda-beda yaitu 0,625:0,375, 0,75:0,25, 0,875:0,125, 0:1 dan 0,6:0,4. Diperoleh model untuk masing-masing respon dengan nilai R^2 untuk model dengan respon strain sebesar 76,67%, R^2 untuk model dengan respon modulus elastisitas sebesar 97,88%, R^2 untuk model dengan respon viskositas sebesar 40,38%. Kemudian dengan fungsi desirability didapatkan

respon yang optimum secara serentak dengan proporsi air 1 dan metanol 0, diperoleh nilai strain 1,599 MPa, modulus elastisitas 16,676 MPa dan viskositas 1664,4281 Cp.

Kata Kunci : air, Desirability Function, metanol, Mixture design, modulus elastisitas, Perekat PVAc, strain, viskositas

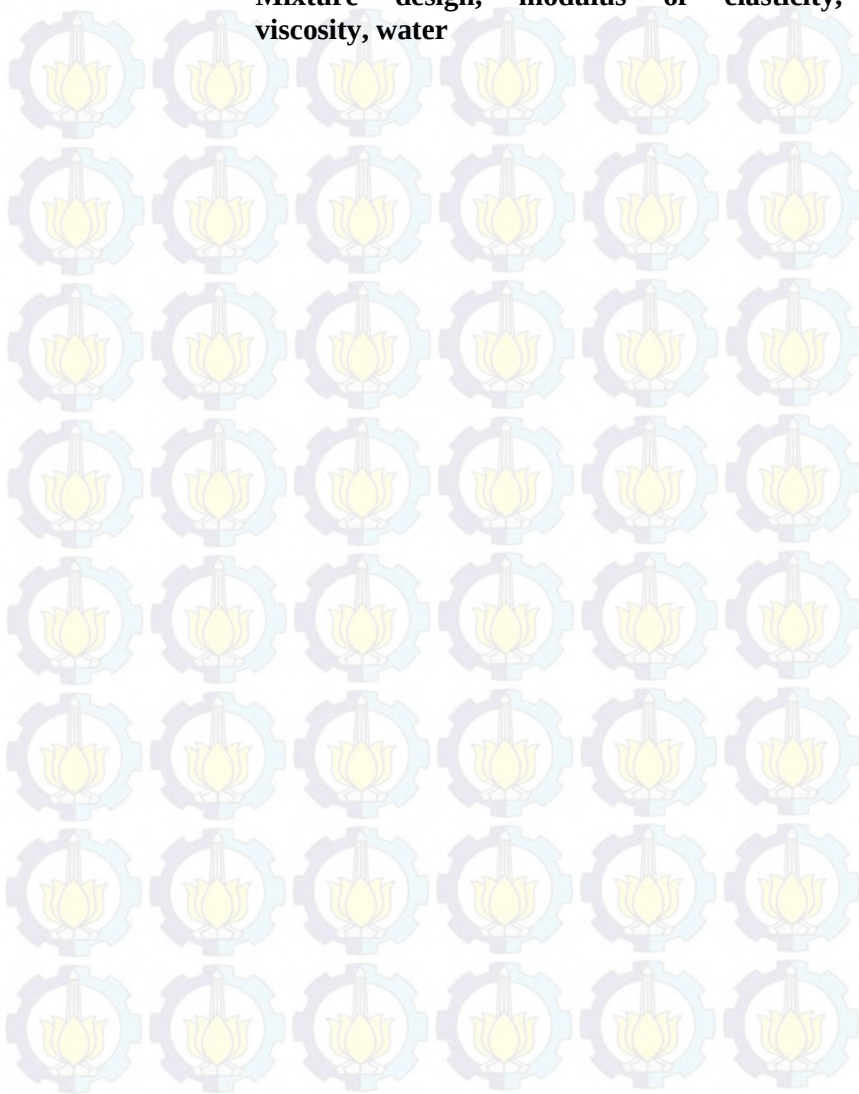
OPTIMIZATION MULTIRESPONSE FOR MIXTURE DESIGN EXPERIMENT IN SYNTHESIS POLYVINIL ACETATE ADHESIVE OF ELECTRIC CAR

Name of Student : Rizqi Ilman Mubarak
NRP : 1311 100 105
Department : Statistics FMIPA-ITS
Supervisor : Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

Abstrak

Different with the other cars, the weight of the electric car has a small weight so that make efficient in using energy. To reach small weight in the production of electric car, so in the production of electric car are used styrofoam as layer of electric car. To paste styrofoam with electric car's body used an adhesive PVAc that made from materials consist of PVA, VAM, surfactants, Sodium Bicarbonate, Ammonium persulfate, dibutyl Phtalat, and water solvent. PVAc adhesive often uses water as a solvent in the manufacture, where the water solvent-based adhesives PVAc is used to paste wood that is considered less suitable when used to paste the electric car's body. Adhesive quality can be improved by replacing water solvent with other solvent. In this research will be optimized in the synthesis of adhesives PVAc using water and methanol solvent as predictor variables use mixture design and desirability function. Quality of adhesive can be measured by strain, modulus of elasticity and viscosity which as the response variable. In this study there were five samples experiment with the proportions of water and methanol are different, 0.625:0.375, 0.75:0.25, 0.875:0.125, 0:1 and 0.6:0.4. Models for each respons obtained with value of R^2 for model with strain as respon is 76,67%, for model with modulus of elasticity as respon is 97,88%, for model with viscosity as respon is 40,38%. Based optimum results by desirability function with the proportion of water and methanol is 1 and 0, obtained value of strain is 1,599 MPa strain, modulus of elasticity is 1664.4281, viscosity 16.676 MPa Cp

Keyword : PVAC adhesive, Desirability Function, methanol, Mixture design, modulus of elasticity, viscosity, water



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 Multirespon untuk Rancangan Mixture pada Pembuatan Perekat Body Mobil Listrik Based PVAc (Polyvinil Asetat)”**. 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. 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. selaku Ketua Jurusan Statistika ITS, sekaligus dosen penguji atas kritik dan saran demi perbaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Haryono, MSIE. selaku dosen penguji atas kritik dan saran demi perbaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Santi Puteri Rahayu, S.Si. M.Si. selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama kuliah di Statistika ITS.
5. Seluruh dosen jurusan Statistika ITS, atas ilmu yang telah diberikan selama penulis berada di bangku kuliah.
6. Ibu tercinta Imroatul Khusnah dan Kakak Nuril Firdaus yang telah tanpa henti memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
7. Teman seperjuangan, Su, Zul, Mere, Nanda, Epa, Wildan, Yusman, atas segalanya.
8. Teman-teman pejuang 112, Dova, Deta, Dio, Teta, Due, Fani Windi 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, Juli 2015

Penulis

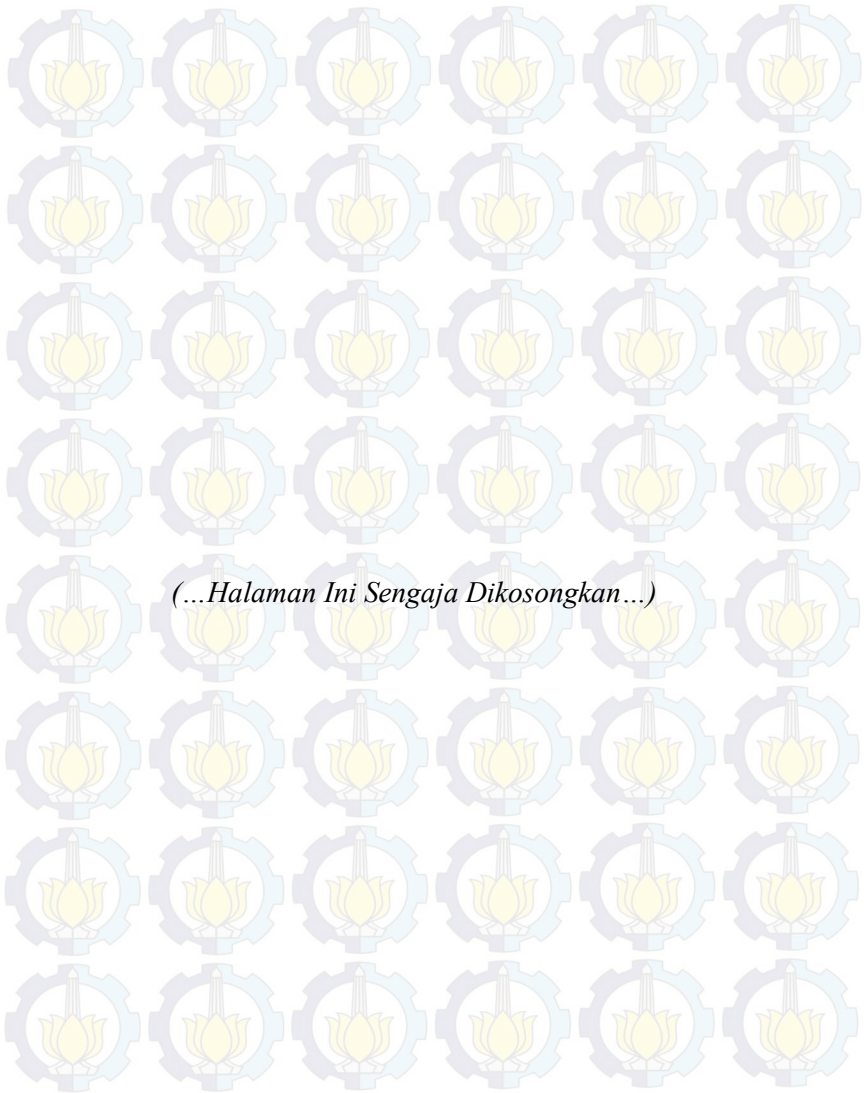
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	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.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Metode <i>Response Surface</i>	5
2.2 <i>Mixture Design</i>	6
2.3 Pegujian Parameter Model.....	7
2.4 Pengujian Asumsi Residual	9
2.5 <i>Desirability Function</i>	11
2.6 Polimerisasi	12
2.7 Polivinil Asetat	13
2.8 Vinil Asetat.....	14
2.9 Metanol.....	14
2.10 Surfaktan	15
2.1` Buffer	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Variabel Penelitian	17
3.2 Rancangan Eksperimen	19
3.3 Langkah-langkah Analisis	21
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Penentuan Model Variabel Respon	25
4.1.1 Penentuan Model <i>Strain</i>	25
4.1.2 Penentuan Model <i>Modulus elastisitas</i>	30

4.1.3 Penentuan Model <i>Visikositas</i>	34
4.2 <i>Desirability Function</i>	39
4.2.1 Fungsi <i>Individual Desirability</i>	39
4.2.2 Fungsi <i>Global Desirability</i>	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Alat uji <i>tensile strength</i>	18
Gambar 3.2 Visikometer rotasional	18
Gambar 3.3 Diagram Alir Langkah-langkah Analisis	24
Gambar 4.1 Plot ACF Residual Model Respon <i>Strain</i>	29
Gambar 4.2 <i>Normality Test</i> Residual Model <i>Strain</i>	30
Gambar 4.3 Plot ACF Residual Model Respon <i>Modulus</i> <i>elastisitas</i>	33
Gambar 4.4 <i>Normality Test</i> Residual Model <i>Modulus elastisitas</i>	34
Gambar 4.5 Plot ACF Residual Model Respon <i>Visikositas</i>	38
Gambar 4.6 <i>Normality Test</i> Residual Model <i>Visikositas</i>	39
Gambar 4.7 Pendekatan fungsi <i>desirability</i>	45



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Analisis Ragam (ANOVA)	8
Tabel 3.1 Variabel Penelitian	19
Tabel 3.2 Proporsi <i>mixture design</i>	20
Tabel 4.1 Data hasil eksperimen	25
Tabel 4.2 <i>Analysis of Variance</i> model orde satu Respon <i>Strain</i>	26
Tabel 4.3 <i>Analysis of Variance</i> model orde dua Respon <i>Strain</i>	26
Tabel 4.4 Uji Parsial Respon <i>Strain</i>	27
Tabel 4.5 Uji Asumsi Residual Identik Respon <i>Strain</i>	28
Tabel 4.6 <i>Analysis of Variance</i> model orde satu Respon <i>Modulus elastisitas</i>	31
Tabel 4.7 <i>Analysis of Variance</i> model orde dua Respon <i>Modulus elastisitas</i>	31
Tabel 4.8 Uji Parsial Respon <i>Modulus elastisitas</i>	32
Tabel 4.9 Uji Asumsi Residual Identik Respon <i>Modulus elastisitas</i>	33
Tabel 4.10 <i>Analysis of Variance</i> model orde satu Respon <i>visikositas</i>	35
Tabel 4.11 <i>Analysis of Variance</i> model orde dua Respon <i>visikositas</i>	35
Tabel 4.12 Uji Parsial Respon <i>Visikositas</i>	36
Tabel 4.10 Uji Asumsi Residual Identik Respon <i>Visikositas</i>	37



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Rancangan Pembuatan Perakat PVAc	51
Lampiran 2. Output Model <i>Response Surface</i> Variabel <i>strain</i>	52
Lampiran 3. Output Model <i>Response Surface</i> Variabel <i>Modulus elastisitas</i>	53
Lampiran 4. Output Model <i>Response Surface</i> Variabel <i>Visikositas</i>	54
Lampiran 5. Output Uji Identik Variabel <i>strain</i>	55
Lampiran 6. Output Uji Identik Variabel <i>Modulus elastisitas</i>	56
Lampiran 7. Output Uji Identik Variabel <i>Visikositas</i>	57
Lampiran 8. Output Optimasi dengan Fungsi <i>Desirability</i>	58



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi mobil listrik telah menjadi isu internasional, terutama di Indonesia. Penyebab adalah mobil ini memiliki bahan bakar yang renewable yakni memakai baterai. Berbeda dengan mobil pada umumnya, mobil listrik dituntut untuk memiliki bobot yang ringan agar efisien dalam pemakaian energi yang dikonsumsi. Di Indonesia sendiri masih sedikit industri yang mengembangkan dan memproduksi mobil listrik, diantaranya adalah pabrik mobil listrik di daerah Wringinanom, Jawa Timur. Karena body mobil listrik ini dituntut ringan, maka pada pembuatannya perlu digunakan styrofoam sebagai lapisan body mobil. Styrofoam yang terdapat pada body mobil ini berfungsi sebagai pelindung agar suhu dalam mobil tetap terjaga dan tidak terpengaruh suhu luar, disamping itu styrofoam adalah material ringan. Untuk membuat lapisan body mobil listrik dengan styrofoam ini, maka dibutuhkan suatu perekat antara styrofoam dan body mobil. Perekat yang sering digunakan di Indonesia pada saat ini adalah polimer polyvinyl acetate (PVAc) (Flavin dan Lenssen, 1995).

Polivinil asetat yang diproduksi di Indonesia adalah polivinil asetat berbasis pelarut air, dalam bentuk lem berwarna putih untuk perekat kayu dan sebagainya. Perekat kayu tersebut tidak cocok apabila digunakan untuk merekatkan material yang lebih keras, sehingga polivinil asetat tersebut dimodifikasi dengan pelarut bukan air yang terbukti memiliki sifat lebih baik dari polivinil asetat berbasis pelarut air (Rolando, 1998).

Kualitas dari perekat PVAc berbasis pelarut air tersebut dapat ditingkatkan dengan mengganti pelarut air dengan pelarut lain. Oleh karena itu PVAc yang berbasis pelarut bukan air sangat diperlukan, khususnya bila dipakai untuk styrofoam. Dalam penelitian ini akan dilakukan dengan penggantian pelarut air dengan menggunakan metanol sehingga

didapatkan produk solvent based PVAc. Metanol memiliki sifat kepolaran mendekati sifat kepolaran air, sehingga perlakuannya pun tidak begitu berbeda. *solvent based PVAc* diduga sangat kuat akan mengefisienkan penggunaannya sebagai perekat untuk styrofoam. Kualitas dari perekat PVAc dapat diukur besar kekuatan tarikan atau disebut *strain*, ketahanan terhadap tarikan atau disebut *modulus elastisitas*, dan ketahanan terhadap gesekan atau disebut *visikositas*.

Mixture design merupakan percobaan dimana dalam rancangan percobaan yang akan dilakukan variabel (faktor) yang akan dicampur memiliki proporsi tertentu. Variabel tersebut dinamakan variabel *mixture* (Cornell, 1990). Dalam penelitian ini proporsi pelarut merupakan variabel *mixture* yang digunakan untuk membuat perekat PVAc.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Meiwika (2014) tentang pembuatan sintesis perekat polyvinyl asetat. Sintesis tersebut terstabilkan oleh suatu dispenil yang mengandung kombinasi antara surfaktan anionik dan non-ionik, serta polivinil alkohol yang berperan sebagai agen pengemulsi. Hasil uji *Tensile Strength* menunjukkan produk PVAc dengan rasio pelarut metanol-air 1:3 memiliki nilai modulus elastisitas paling tinggi yaitu sebesar 17,891 MPa. Hasil uji viskositas menunjukkan bahwa PVAc dengan rasio pelarut metanol-air 2:3 memiliki nilai *strain* dan viskositas paling besar yaitu sebesar 1,636 Mpa dan 5000 cP. Dengan demikian pelarut metanol dapat meningkatkan ketahanan, sifat termal dan mekanik pada material polivinil asetat.

Optimasi *Mixture Design* sudah dilakukan oleh Haliza (2012) yaitu tentang optimasi formula *brownies* berbasis tepung talas Banten. Pada penelitian tersebut digunakan desain *mixture simplex lattice* dari *Response Surface Methodology* (RSM). Pengaruh komposisi formula dari tepung talas Banten kisaran 70-100% dan maizena kisaran 0-30% terhadap karakteristik tekstur dan organoleptik *Brownies* dipelajari. Signifikansi seluruh model regresi yang menjelaskan pengaruh prosentase tepung talas dan

maizena ditentukan dalam bentuk analisis ragam, nilai p dan R^2 . Hasil analisis ragam diperoleh seluruh respon memiliki nilai p yang signifikan dan R^2 diatas 0.8 (>80%). Berdasarkan hasil optimasi dari RSM diperoleh formula kombinasi tepung talas Banten dan maizena sebesar 86% - 14% dengan nilai desirability sebesar 0,812 adalah formula optimum dan mengandung 4,66% protein, 33,84% lemak, 15,20% air, 1,66% abu, 44,64% karbohidrat, dan 11,26% serat pangan. Secara keseluruhan panelis memberikan penerimaan yang baik dengan nilai 6,7 dari 9,0. Kandungan serat pangan *Brownies* tergolong tinggi (16.05% dari Angka Label Gizi pada setiap takaran saji), sehingga dapat digolongkan sebagai pangan sumber serat.

Selama ini dalam pembuatan perekat *PVAc*, pelarut yang digunakan hanya menggunakan pelarut air saja dengan komposisi antara lain yaitu PVA, VAM, Surfaktan, Sodium Bikarbonat, Ammonium persulfat, Dibutil phtalat. pada penelitian ini akan dilakukan optimasi polivinil asetat untuk aplikasi perekat plat besi/baja dengan *styrofoam* menggunakan pelarut methanol dan air. Dimana rancangannya menggunakan *mixture design* dan kemudian dioptimasi menggunakan *Response Surface Methodology* dan pendekatan fungsi *Desirability*.

1.2 Rumusan Masalah

Perekat *PVAc* yang digunakan di Indonesia untuk merekatkan *body* mobil listrik menggunakan pelarut air, padahal perekat *PVAc* yang menggunakan pelarut air biasa digunakan untuk merekatkan kayu sehingga dianggap kurang cocok jika digunakan untuk merekatkan besi. Kualitas perekat *PVAc* dapat ditingkatkan dengan menggunakan pelarut lain. Dalam penelitian ini akan digunakan campuran pelarut metanol dan air untuk meningkatkan kualitas perekat *PVAc*. Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini yaitu

1. Bagaimana menentukan komposisi pelarut metanol dan air sehingga dihasilkan *strain*, *modulus elastisitas*, dan *visikositas* optimum?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah

- 1 Menentukan komposisi pelarut methanol dan air sehingga menghasilkan variabel respon *strain*, *modulus elastisitas*, dan visikositas yang optimum.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah PVAc-solvent based diharapkan dapat menjadi solusi terbaik dalam penggunaan bahan perekat lapisan styrofoam dan plat besi pada body mobil.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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. pada banyak permasalahan bentuk hubungan antara respon dan variabel bebasnya tidak diketahui. Langkah pertama dari metode *respon surface* adalah untuk menemukan pendekatan yang sesuai dengan fungsi hubungan yang sesungguhnya antara y dan variabel bebasnya (Montgomery, 1997). Metode ini memiliki persamaan:

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

keterangan:

y : variabel respon

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

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

Sebagian besar permasalahan terjadi ketika bentuk hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor tidak diketahui. Oleh karena itu, dalam metode *response surface* langkah pertamanya adalah menemukan pendekatan yang sesuai untuk hubungan fungsional yang tepat antara variabel respon dengan variabel prediktor menggunakan model persamaan linear sebagai berikut.

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

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

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

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).

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

$$\hat{\mathbf{y}}_s = \beta_0 + \frac{1}{2} \mathbf{x}_s' \mathbf{b} \quad (2.6)$$

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).

2.2 Mixture Design

Mixture design merupakan suatu metode Design of Experiment (DOE) dimana respon diasumsikan hanya bergantung pada proporsi relative dari bahan-bahan yang disertakan dalam campuran (Cornell, 1990). Definisi *mixture* secara umum adalah proporsi komposisi bahan dalam campuran. Sehingga dalam

mixture design faktor penyusun merupakan bahan-bahan yang ada. Total proporsi dari campuran adalah satu.

$$\sum_{i=1}^p X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_p = 1 \quad (2.8)$$

2.3 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 serentak dan uji parsial.

a. 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:

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

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

Statistik uji yang digunakan adalah uji F dengan persamaan (2.9).

$$F_{\text{hitung}} = \frac{MS_{\text{regresi}}}{MS_{\text{residual}}} \quad (2.9)$$

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 2.1.

Tabel 2.1 Analisis Ragam (ANOVA)

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

Sumber : (Drapper & Smith, 1992)

b. 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 **Error! Reference source not found.**

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_i}{se(\hat{\beta}_i)} \quad (2.10)$$

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 (Montgomery, 1997).

2.4 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 D. N., 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 (2.11).

$$F_{hitung} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (|\hat{e}_i| - |\bar{e}|)^2 \right] / (s-1)}{\left[\sum_{i=1}^n (|e_i| - |\hat{e}|)^2 \right] / (n-s)} \quad (2.11)$$

Keputusannya adalah tolak H_0 jika nilai F_{hitung} lebih besar dari $F_{tabel}(F_{\alpha; (s-1, n-s)})$.

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 (2.12).

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}(Z_t Z_{t+k})}{\sqrt{\text{Var}(Z_t)} \sqrt{\text{Var}(Z_{t+k})}} = \frac{\delta_k}{\delta_0} \quad (2.12)$$

dimana:

ρ_k = korelasi antara Z_t dan Z_{t+k}

δ_k = kovarian antara Z_t dan Z_{t+k}

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

Interval konfidensi dengan batas signifikansi atas dan bawah untuk koefisien ACF ditunjukkan pada persamaan (2.13) (Wei W. W., 2006).

$$0 \pm \frac{Z_{\alpha/2}}{\sqrt{n}} \quad (2.13)$$

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

$$D = \max |F_0(x) - S_N(x)| \quad (2.14)$$

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).

2.5 *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 (2.15).

$$\left. \begin{aligned} \hat{y}_i &= 0 & i < S_i \\ \hat{y}_i &= [(i - S_i) / (H_i - S_i)]^r & S_i \leq i \leq H_i \\ \hat{y}_i &= 1 & i > H_i \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

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

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

Apabila respon perlu untuk mencapai target tertentu ‘Ti’ maka *desirability* indeks dihitung dengan persamaan (2.17).

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

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 (2.18).

$$D = (\hat{y}_1^{w_1} \times \hat{y}_2^{w_2} \times \dots \times \hat{y}_n^{w_n})^{1/\sum_{j=1}^n w_j} \quad (2.18)$$

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 memaksimumkan nilai *global desirability* (Majumder, Das, Majumder, & Debnath, 2014).

2.6 Polimerisasi

Polimerisasi merupakan suatu jenis reaksi kimia dimana

monomer-monomer bereaksi untuk membentuk rantai yang besar. Dua jenis utama dari reaksi polimerisasi adalah polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi. Jenis reaksi yang monomernya mengalami perubahan reaksi tergantung pada strukturnya. Suatu polimer adisi memiliki atom yang sama seperti monomer dalam unit ulangnya, sedangkan polimer kondensasi mengandung atom-atom yang lebih sedikit karena terbentuknya produk sampingan selama berlangsungnya proses polimerisasi (Kumar, 1998).

Adapun tahapan polimerisasi pada pembentukan polivinil asetat (PVAc) ini diantaranya tahap inisiasi, propagasi, dan terminasi. Tahap inisiasi meliputi pembentukan senyawa radikal bebas untuk memulai polimerisasi monomer. Kemudian, selanjutnya terjadi tahap propagasi melibatkan reaksi pertumbuhan rantai polimer akibat penambahan unit monomer secara terus menerus. Tahap selanjutnya adalah tahap terminasi atau tahap penghentian pembentukan rantai polimer dapat berlangsung melalui dua mekanisme, yaitu melalui mekanisme perpindahan elektron bebas (chain transfer) atau melalui terminasi bimolekuler. Mekanisme perpindahan elektron bebas melibatkan senyawa yang bertindak sebagai agen perpindahan atau chain transfer agent (CTA) (Kumar, 1998).

2.7 Polivinil Asetat

Polivinil asetat adalah suatu senyawa polimer yang bersifat elastis. Zat ini ditemukan oleh Dr. Flitz K. dari Jerman pada tahun 1912. Rasio hasil hidrolisisnya berkisar antara 89-99 %. Polivinil asetat sangat memudahkan para tukang kayu untuk mengelem kayu. Produk lem yang dihasilkan adalah: lem kuning, lem putih dan lem dari Amerika, lem elmer. Zat ini adalah bahan baku pembuatan lem kertas, kain, dan rokok. Bila dibandingkan dengan senyawa polimer lain, zat ini lebih fleksibel dan tidak bersifat asam. Polivinil asetat digunakan sebagai bahan antistatik, bahan pengikat, penstabil emulsi, pembentuk film, sebagai bahan perekat dan pengikat pada cat berbahan dasar air atau emulsi, sebagai pengikat pada kertas, kayu, kaca, logam,

porcelain, dan perekat pada resin (Kirk, 1980).

Pada penelitian ini untuk memperoleh produk berupa polivinil asetat (PVAc) digunakan proses polimerasi emulsi. Polimerasi emulsi merupakan reaksi heterogen karena sistem yang digunakan tidak saling larut. Polimerasi emulsi umumnya jarang dilakukan secara polimerasi ionik mengingat secara ionik membutuhkan kemurnian dari komponen-komponen yang digunakan dalam masa reaksi (Steven, 1995).

2.8 Vinil Asetat

Vinil Asetat atau VAM (vinyl acetate monomer) adalah senyawa kimia dengan rumus kimia $\text{CH}_3\text{COOCH}=\text{CH}_2$, dan merupakan monomer dari polivinil asetat. Senyawa ini merupakan cairan tak berwarna dengan rasa manis dengan nama sistematis adalah 1-asetoksietilena atau etenil asetat. Senyawa ini biasanya dibuat melalui reaksi dari etilena, asam asetat, dan oksigen dengan katalis paladium serta dapat dipolimerisasi sendiri membentuk polivinil asetat (PVA), atau bersama monomer lain untuk membentuk kopolimer seperti etilen-vinil asetat (Erbil, 2002).

VAM merupakan senyawa kimia yang digunakan dalam pembuatan berbagai macam produk industri, sebagai polivinil asetat digunakan untuk memproduksi cat, bahan perekat, dan lapisan untuk bahan lunak. Polivinil asetat digunakan untuk memproduksi isolasi untuk kawat magnet. VAM merupakan bahan baku utama untuk pembuatan polivinil asetat (PVAc) dan polivinil alkohol (PVOH atau PVA) (Erbil, 2002).

2.9 Metanol

Metanol adalah bentuk paling sederhana dari alkohol yang biasa digunakan sebagai pelarut di industri dan sebagai bahan tambahan dari etanol dalam proses denaturasi sehingga etanol menjadi toksik. Rumus kimia dari metanol adalah CH_3OH dan dikenal dengan nama lain yaitu metil alkohol, metil hidrat, metil karbinol, wood alkohol atau spiritus. Pada keadaan

atmosfer, metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar dan beracun dengan bau yang khas (Greenwood, 1997).

2.10 Surfaktan

Surfaktan (surface active agent) adalah sebuah zat yang dapat menurunkan tegangan permukaan air (mematahkan ikatan-ikatan hidrogen pada permukaan) dengan sangat drastis dikarenakan molekul surfaktan mempunyai dua ujung yang terpisah, yaitu ujung polar (hidrofilik) dan ujung non polar (hidrofobik). Surfaktan dapat digolongkan menjadi dua golongan besar, yaitu surfaktan yang larut dalam minyak dan surfaktan yang larut dalam air. Sementara dalam industri polimer salah satunya jenis polimer binder untuk coating digunakan surfaktan untuk mengikat dan mencampurkan monomer monomer yang berbeda fasa berbeda kepolarannya. Apabila tidak digunakan kepolarannya maka sering terjadi proses hancurnya kepolaran pada produk yang mengakibatkan produk polimer seperti bubur (Adamsons, 1982).

2.12 Buffer

Larutan penyangga atau buffer adalah larutan yang terdiri dari garam dengan asam lemahnya atau garam dengan basa lemahnya. Komposisi ini menyebabkan larutan memiliki kemampuan untuk mempertahankan pH jika kedalam larutan ditambahkan sedikit asam atau basa. Hal ini disebabkan larutan penyangga memiliki pasangan asam basa konjugasi. Pada pembuatan polivinil asetat (PVAc), larutan penyangga atau buffer yang digunakan adalah sodium bikarbonat (NaHCO_3) atau lebih sering disebut baking soda (Oxtoby, 2002).

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

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini meliputi variabel respon dan variabel prediktor yang dijelaskan sebagai berikut.

3.1.1 Variabel Respon

Variabel respon dalam penelitian ini adalah *strain*, *modulus elastisitas* dan visikositas yang merupakan pengukur kualitas perekat PVAc. Strain dan modulus elastisitas menunjukkan sifat mekanik suatu polimer atau sampel PVAc, visikositas menunjukkan ketahanan sampel. Perekat PVAc yang baik memiliki nilai Strain, Modulus elastisitas, Visikositas yang semakin besar. Jadi ketiga variabel respon memiliki hubungan yaitu semakin besar salah satu variabel repon, variabel respon lain juga semakin besar.

1. Strain

Nilai *Strain* adalah besarnya kekuatan tarik yang dihasilkan. *Strain* merupakan respon dengan karakteristik *large the better* sehingga semakin tinggi nilai *strain* maka perekat PVAc semakin baik. Nilai *strain* memiliki satuan Mpa (Mega Pascal) dan dapat diukur dengan alat uji *tensile strength* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

2. Modulus Elastisitas

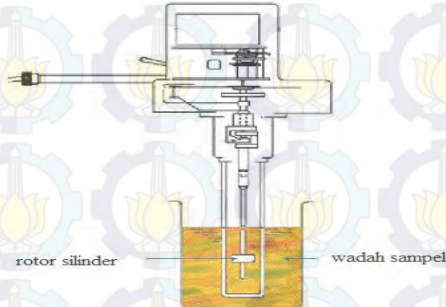
Modulus elastisitas adalah besarnya ketahanan produk terhadap kekuatan yang diberikan. *Modulus elastisitas* merupakan respon dengan karakteristik *large the better* sehingga semakin tinggi nilai *modulus elastisitas* maka perekat PVAc semakin baik. Nilai *modulus elastisitas* memiliki satuan Mpa (Mega Pascal) dan dapat diukur dengan alat uji *tensile strength* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alat uji *tensile strength*

3. *Visikositas*

Visikositas adalah ketahanan produk terhadap gesekan. *Visikositas* merupakan respon dengan karakteristik *large the better* sehingga semakin tinggi *visikositas* maka perekat PVAc semakin baik. Nilai *visikositas* dapat diukur dengan alat visikometer rotasional yang ditunjukkan pada Gambar 3.2, dimana akan mendapatkan nilai satuan cP (centi Poise).



Gambar 3.2 Visikometer rotasional

Ketiga variabel respon tersebut saling memiliki hubungan, dimana *modulus elastisitas* memiliki hubungan dengan *strain* yaitu *Modulus elastisitas* ditentukan oleh pengukuran kemiringan kurva *strain* dan regangan dalam uji tekan suatu sampel. Sedangkan *visikositas* merupakan pengukuran dari ketahanan produk terhadap gesekan baik oleh tekanan maupun tegangan (*strain*).

3.1.2 Variabel Prediktor

Pada penelitian ini variabel prediktor atau faktor yang mempengaruhi respon adalah komposisi pelarut yang terdiri dari air dan metanol, dimana pelarut berfungsi untuk melarutkan senyawa-senyawa yang digunakan untuk membuat perekat PVAc.

1. Air

Air merupakan pelarut yang paling umum digunakan dalam pembuatan perekat PVAc. Dalam penelitian ini air yang digunakan diukur dengan satuan mili liter. Dimana dalam penelitian yang dilakukan oleh meiwika (2014) komposisi air 675 mili liter menghasilkan nilai *strain* dan *modulus elastisitas* yaitu 1,636 MPa dan 17,891 Mpa.

2. Metanol

Metanol merupakan bentuk paling sederhana dari alkohol yang biasa digunakan sebagai pelarut di industri. Dalam penelitian ini metanol yang digunakan diukur dengan satuan mili liter. Dimana dalam penelitian yang dilakukan oleh Meiwika (2014) komposisi metanol 225 mili liter menghasilkan nilai *strain* dan *modulus elastisitas* yaitu 1,636 MPa dan 17,891 Mpa.

Rangkuman variabel respon dan variabel prediktor ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Jenis	Satuan	Kriteria Respon
Y_1	<i>Strain</i>	Respon	Mpa	<i>Large the Better</i>
Y_2	<i>Modulus Elastisitas</i>	Respon	Mpa	<i>Large the Better</i>
Y_3	<i>Visikositas</i>	Respon	cP (centipoises)	<i>Large the Better</i>
X_1	Air	Prediktor	ml (mili liter)	
X_2	<i>Metanol</i>	Prediktor	ml (mili liter)	

3.2 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan untuk pembuatan perekat sintesis PVAc (Polivinyl Acetate) adalah rancangan *mixture*.

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan perekat PVAc adalah sebagai berikut :

1. Polivinil Alkohol 60 gram
2. Monomer Vinil Asetat 450 gram
3. Surfaktan 0.9 gram
4. Sodium Bikarbonat 2.29 gram
5. Ammonium persulfat (APS) 1.55 gram
6. Dibutil phtalat (DBP) 16.41 gram
7. Air demineralisasi
8. Metanol

Dari bahan-bahan tersebut, air dan methanol merupakan pelarut. Dalam penelitian ini, pelarut adalah variabel *mixture*. Proporsi yang digunakan adalah jumlah pelarut dimana dalam kondisi nyatanya dikalikan dengan 743.96 mili liter yang menggunakan persamaan 2.8. Berikut berdasarkan rancangan yang dilakukan oleh Meiwika (2014) ditampilkan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Proporsi *mixture design*

No.	metanol	air
1.	0.375	0.625
2.	0.250	0.750
3.	0.125	0.875
4.	0.000	1.000
5.	0.600	0.400

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Reactorglass* berfungsi sebagai tempat berlangsungnya seluruh reaksi
2. Corong pisah berfungsi sebagai media untuk menampung inisiator

3. Kondensor berfungsi untuk mencegah keluarnya uap dari sistem
4. Pemanas elektrik berfungsi untuk memanaskan pelarut
5. Termometer berfungsi sebagai pengukur temperatur
6. Pengaduk besi berfungsi untuk mengaduk semua bahan agar bahan tercampur sempurna
7. Gearbox berfungsi sebagai mesin penggerak untuk pengaduk besi
8. Inverter berfungsi sebagai alat pengatur putaran pengaduk besi
9. Visikometer rotasional berfungsi untuk mengukur visikositas produk yang terbentuk
10. *Tensile Strength* berfungsi untuk karakterisasi sifat mekanik

Prosedur pembuatan perekat sebagai berikut :

1. Pembuatan diawali dengan mengambil pelarut methanol dan air yang telah ditentukan
2. Dimasukkan dalam *reactorglass*
3. Dipanaskan dengan menggunakan pemanas elektrik
4. Kemudian ditambahkan PVA dan diaduk dengan kecepatan konstan pada 750 rpm
5. Ditambahkan pula buffer Sodium Bikarbonat sebagai pengatur pH
6. Lalu dimasukkan monomer vinil asetat, APS dan surfaktan
7. Seluruh bahan dicampurkan dengan pengaduk besi yang telah diatur kecepatan aduknya
8. Produk yang terbentuk kemudian dilakukan karakterisasi.

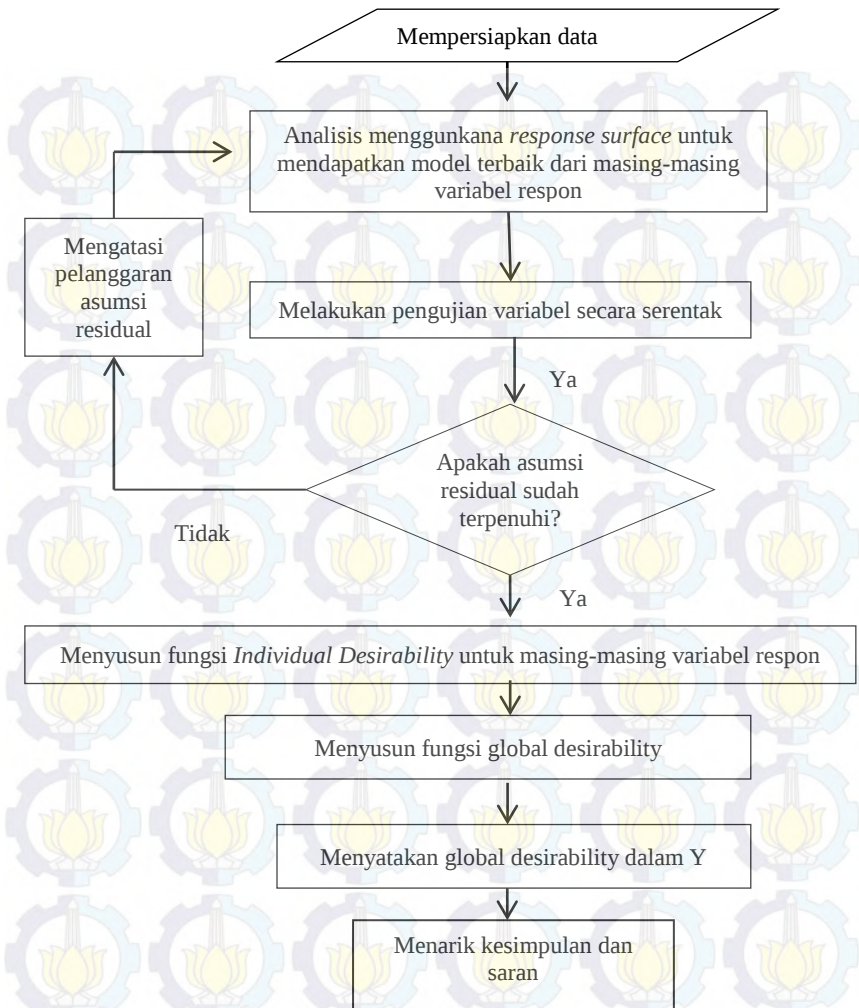
3.3 Langkah-langkah Analisis

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 masing-masing variabel respon. Model tersebut merupakan fungsi dari variabel prediktor yaitu pelarut air dan pelarut *Metanol*.
2. Menguji kesesuaian model dengan pengujian secara serentak untuk melihat apakah variabel prediktor pelarut air dan pelarut *metanol* 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.
3. Menguji kesesuaian model dengan pengujian secara parsial pada masing-masing variabel prediktor yaitu pelarut air dan pelarut *metanol* untuk melihat apakah variabel tersebut berpengaruh signifikan.
4. Melakukan uji terhadap asumsi residual.
5. Menyusun fungsi *individual desirability* untuk variabel *strain* menggunakan Persamaan 2.15
6. Menyusun fungsi *individual desirability* untuk variabel *Modulus Elastisitas* menggunakan Persamaan 2.15
7. Menyusun fungsi *individual desirability* untuk variabel *visikositas* pada baja menggunakan Persamaan 2.15
8. Menyusun fungsi untuk global *desirability* menggunakan Persamaan 2.17 berdasarkan fungsi *individual desirability* dari masing-masing respon.

9. Menyatakan fungsi global *desirability* dalam Y menggunakan Persamaan 2.18 untuk memaksimumkan nilai *global desirability*.
10. Mendapatkan nilai maksimum untuk fungsi *global desirability*.
11. Mendapatkan nilai variabel proses yang mengoptimumkan *global desirability*.
12. Menarik kesimpulan dan saran.

Rangkuman langkah analisis dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Alir Langkah –Langkah Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan analisis dan pembahasan terhadap data percobaan pada pembuatan perekat PVAc. Data ini akan diolah dengan metode *response surface* untuk mendapatkan model yang sesuai, kemudian disusun fungsi *global desirability*, dan optimasi fungsi *global desirability*.

4.1 Penentuan Model Variabel Respon

Metode *response surface* pada penelitian ini digunakan untuk mendapatkan model yang sesuai pada masing-masing variabel respon. Model yang digunakan untuk variabel respon *strain*, *modulus elastisitas*, *visikositas*. Dimana data hasil percobaan ditampilkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data hasil eksperimen

No.	Metanol	Air	<i>Strain</i> (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	<i>Visikositas</i> (Cp)
1.	0.375	0.625	0.09500	16.747	1000
2.	0.250	0.750	0.59700	17.891	5000
3.	0.125	0.875	1.30800	17.139	3000
4.	0.000	1.000	1.40000	16.765	2000
5.	0.600	0.400	0.86500	13.324	0

4.1.1 Penentuan Model untuk Variabel *Strain*

Model terbaik variabel respon *Strain* didapatkan melalui analisis menggunakan *response surface*. Sebelum menentukan model terbaik terlebih dahulu dilakukan pengujian model yang meliputi uji parameter secara serentak, dan uji parameter secara parsial. Setelah didapatkan model terbaik, di-lakukan pula pengujian terhadap asumsi residual dari model respon *Strain*. Pengujian asumsi residual meliputi asumsi identik, independen, dan berdistribusi normal $(0, \sigma^2)$.

Pengujian Model

Pengujian model dilakukan untuk menentukan model terbaik pada respon *strain*. Pengujian model terbaik dilakukan melalui uji parameter secara serentak untuk mengetahui pengaruh variabel prediktor air dan metanol secara bersama, dan uji parameter secara parsial untuk mengetahui pengaruh masing-masing prediktor yang terhadap respon *strain*. Hasil dari pengujian model orde satu ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Analysis of Variance* model orde satu Respon *Strain*

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	1	0.37692	0.376921	1.47	0.312
Linear	1	0.37692	0.376921	1.47	0.312
Residual Error	3	0.76956	0.256519		
Total	4	1.14648			

Berdasarkan Tabel 4.2 didapatkan hasil pengujian secara serentak yaitu bahwa tidak terdapat variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *strain* karena nilai *P* lebih dari $\alpha=0,05$. Karena variabel prediktor tidak signifikan pada model orde satu maka dilanjutkan dengan analisis model orde dua yang ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 *Analysis of Variance* model orde dua Respon *Strain*

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0.87217	0.436085	3.18	0.239
Linear	1	0.37692	0.409172	2.98	0.226
Quadratic	1	0.49525	0.495248	3.61	0.198
metanol*air	1	0.49525	0.495248	3.61	0.198
Residual Error	2	0.27431	0.137154		
Total	4	1.14648			

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa Hasil pengujian parameter secara serentak dapat dilihat dari *p-value* regression yang nilainya lebih dari taraf signifikansi $\alpha=0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *strain*.

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 4.4.

Tabel 4.4 Uji Parsial Respon *Strain*

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Metanol	0.77	0.3633	2.119	0.168	1.547
Air	1.6	0.3405	4.6989	0.105	1.782
metanol*air	-2.907	1.5298	-1.90	0.198	2.410

Berdasarkan tabel 4.3 dapat diketahui bahwa campuran air dan metanol tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Model untuk variabel *Strain* ditunjukkan pada Persamaan (4.1)

$$\hat{y}_1 = 3.447\text{metanol} + 1.6\text{air} - 8.075\text{air} * \text{metanol} \quad (4.1)$$

Model untuk variabel respon *strain* pada Persamaan (4.1) mampu menjelaskan variasi total dari *strain* sebesar 76,07%. Model inilah yang selanjutnya akan disusun sebagai masukan untuk membentuk fungsi *individual desirability*.

Pengujian Asumsi Residual

Setelah didapatkan model yang sesuai untuk variabel *Strain* 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 *strain* yang sudah didapatkan dengan faktor-faktor yang digunakan dalam model. Pengujian dilakukan dengan meregresikan nilai absolut e_i

dengan masing-masing faktor sehingga didapatkan hasil pada tabel 4.5.

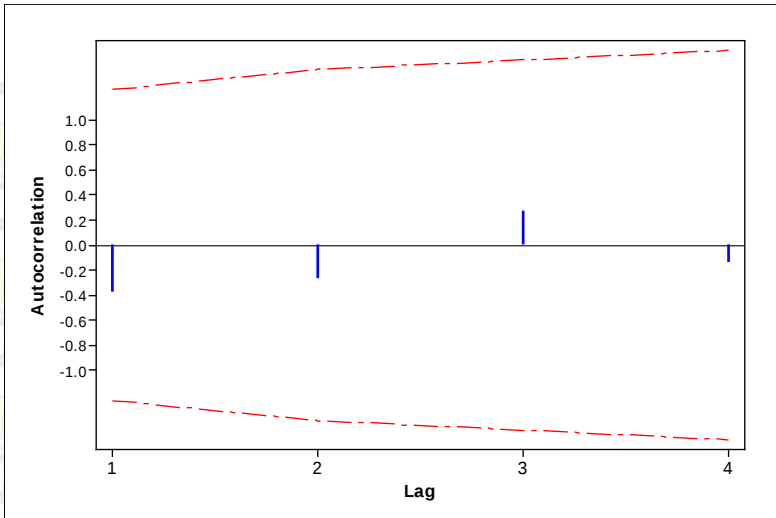
Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui hasil pengujian parameter dari regresi antara nilai absolut ϵ_i dengan masing-masing faktor yang digunakan pada model *strain*. *P-value* dari masing-masing faktor bernilai lebih dari $\alpha=0,05$, tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara masing-masing faktor dengan absolut ϵ_i sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi identik sudah terpenuhi.

Tabel 4.5 Uji Asumsi Residual Identik Respon *strain*

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Metanol	0.1085	0.1683	0.6446	0.585	1.547
Air	0.229	0.1577	1.452	0.283	1.782
metanol*air	0.2113	0.7086	0.3	0.794	2.41

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.

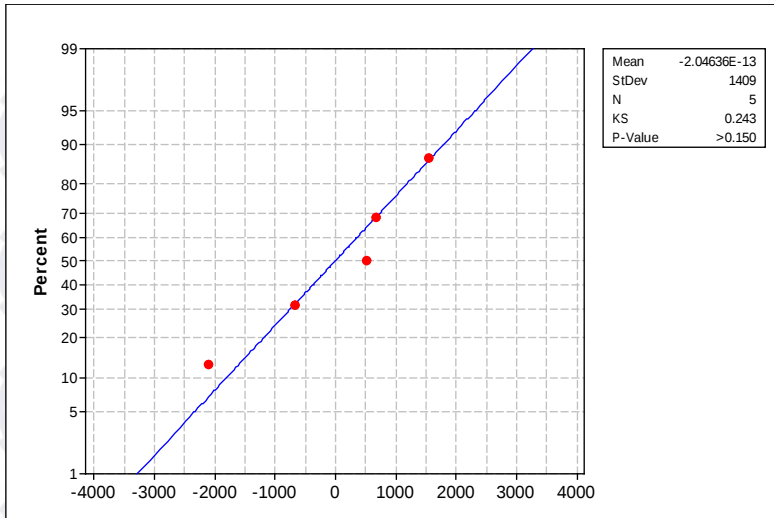


Gambar 4.1 ACF Residual Model untuk variabel *Strain*

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 *Modulus Elastisitas* dengan nilai probabilitas normal.



Gambar 4.2 Normality Test Residual Model Strain

Berdasarkan gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pola residual mengikuti garis lurus dengan p -value dari uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah $>0,15$ atau lebih dari $\alpha=0,05$. Sehingga disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi distribusi normal.

4.1.2 Model untuk *Modulus Elastisitas*

Model terbaik dari respon *Modulus elastisitas* didapatkan melalui analisis menggunakan *response surface*. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan model terbaik yang pengujian model yang meliputi 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 *Modulus*. Pengujian ini meliputi uji serentak untuk mengetahui pengaruh variabel prediktor air dan metanol terhadap variabel *Modulus elastisitas* secara bersama-sama, dan uji parsial untuk mengetahui variabel mana yang berpengaruh signifikan terhadap respon *Modulus Elastisitas*. Hasil pengujian

serentak model orde satu respon *Modulus Elastisitas* ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 *Analysis of Variance* Response model orde satu *Modulus Elastisitas*

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	1	7.2095	7.20952	4.22	0.132
Linear	1	7.2095	7.20952	4.22	0.132
Residual Error	3	5.127	1.70901		
Total	4	12.3365			

Berdasarkan Tabel 4.6 didapatkan hasil pengujian secara serentak yaitu bahwa tidak terdapat variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *modulus elastisitas* karena nilai P lebih dari $\alpha=0,05$. Karena variabel prediktor tidak signifikan pada model orde satu maka dilanjutkan dengan analisis model orde dua yang ditunjukkan pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 *Analysis of Variance* Response model orde dua *Modulus Elastisitas*

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	2	11.9981	5.99905	35.45	0.027
Linear	1	6.7698	6.7698	40	0.024
Quadratic	1	4.7886	4.78858	28.3	0.034
metanol*air	1	4.7886	4.78858	28.3	0.034
Residual Error	2	0.3385	0.16923		
Total	4	12.3365			

Berdasarkan hasil pengujian parameter secara serentak dapat dilihat dari p -value regression yang kurang dari taraf signifikansi $\alpha=0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa paling sedikit terdapat satu variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel respon *Modulus elastisitas*.

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 4.8.

Tabel 4.8 Uji Parsial Respon *Modulus elastisitas*

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Metanol	13.301	0.4036	32.9559	0.000	1.547
Air	16.676	0.3782	44.093	0.000	1.782
metanol*air	9.039	1.6993	5.32	0.034	2.41

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa campuran metanol dan air berpengaruh terhadap respon. Model untuk variabel *modulus elastisitas* dinyatakan dalam persamaan (4.2)

$$\hat{y}_2 = 0.5432 \text{ metanol} + 16.6273 \text{ air} + 26.5065 \text{ air} * \text{metanol} \quad (4.2)$$

Model orde dua untuk variabel *Modulus Elastisitas* yang dinyatakan pada persamaan (4.2) mampu menjelaskan variasi total dari *Modulus Elastisitas* sebesar 97.88%. Model inilah yang selanjutnya akan digunakan sebagai masukan untuk membentuk fungsi *individual desirability*.

Pengujian Asumsi Residual

Setelah didapatkan model yang sesuai untuk variabel *Modulus Elastisitas* 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 *Modulus Elastisitas* yang sudah didapatkan dengan faktor-faktor yang digunakan dalam model. Pengujian dilakukan dengan meregresikan nilai absolut e_i dengan masing-masing faktor sehingga didapatkan hasil pada Tabel 4.9.

Berdasarkan Tabel 4.9 dapat diketahui hasil pengujian parameter dari regresi antara nilai absolut e_i dengan masing-masing faktor yang digunakan pada model *Modulus Elastisitas*.

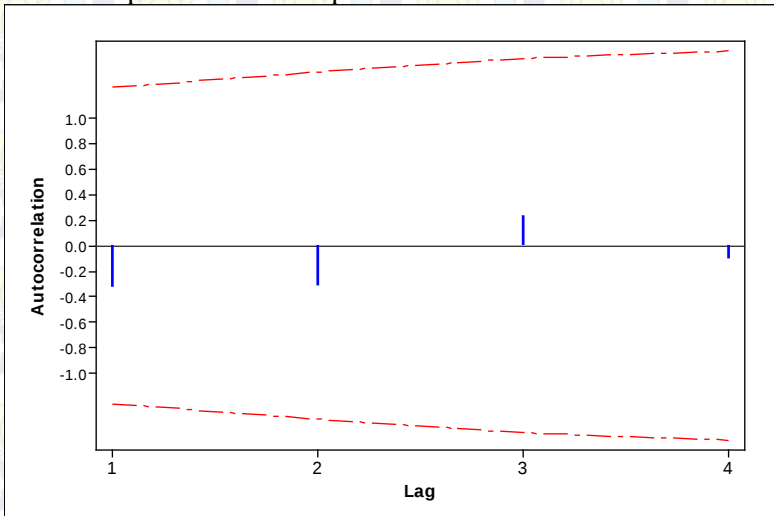
P -value dari masing-masing faktor bernilai lebih dari $\alpha=0,05$, tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara masing-masing faktor dengan absolut e_i sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi identik sudah terpenuhi.

Tabel 4.9 Uji Asumsi Residual Identik Respon *Modulus Elastisitas*

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Metanol	-0.00282	0.09639	0.02926	0.978	1.547
Air	0.12328	0.09034	1.36462	0.305	1.782
metanol*air	1.15118	0.40587	2.84	0.105	2.41

2. Asumsi Independen

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

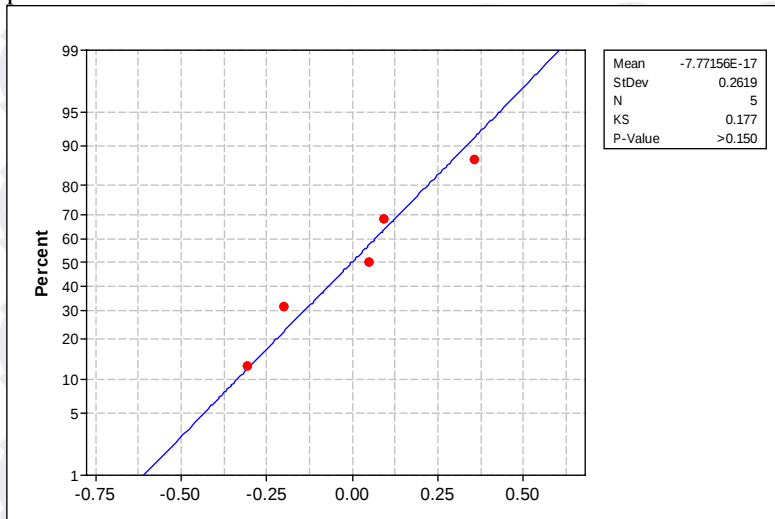


Gambar 4.3 ACF Residual Model *Modulus Elastisitas*

Berdasarkan Gambar 4.3 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 *Modulus Elastisitas* dengan nilai probabilitas normal.



Gambar 4.4 Normality Test Residual Model Modulus Elastisitas

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pola residual mengikuti garis lurus dengan p -value dari uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah >0.15 atau lebih dari $\alpha=0,05$. Sehingga disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi distribusi normal.

4.1.3 Model untuk Variabel Visikositas

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

Pengujian Model

Pengujian model dilakukan untuk menentukan model terbaik pada respon *visikositas*. Pengujian ini meliputi uji serentak untuk mengetahui pengaruh variabel prediktor terhadap variabel *visikositas* secara bersama-sama, dan uji parsial untuk mengetahui variabel mana yang berpengaruh signifikan terhadap respon *visikositas*. Hasil *Analysis of Variance* model orde satu untuk variabel *visikositas* ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 *Analysis of Variance* Response model orde satu *visikositas*

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	1	4951692	4951692	1.51	0.307
Linear	1	4951692	4951692	1.51	0.307
Residual	3	9848308	3282769		
Error					
Total	4	14800000			

Berdasarkan Tabel 4.10 didapatkan hasil pengujian secara serentak yaitu bahwa tidak terdapat variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *visikositas* karena nilai P kurang dari $\alpha=0,05$. Karena variabel prediktor tidak signifikan pada model orde satu maka dilanjutkan dengan analisis model orde dua yang ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 *Analysis of Variance* model orde dua Respon *Visikositas*

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	2	6856821	3428411	0.86	0.537
Linear	1	4951692	4867407	1.23	0.384
Quadratic	1	1905129	1905129	0.48	0.56
metanol*air	1	1905129	1905129	0.48	0.56
Residual	2	7943179	3971589		
Error					
Total	4	14800000			

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil pengujian parameter secara serentak dapat dilihat dari *p-value* regression. Didapatkan *p-value* regression sama dengan 0,56 atau lebih dari taraf signifikansi $\alpha=0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat terdapat variabel prediktor yang signifikan terhadap variabel *visikositas*. Hasil pengujian parsial terhadap respon *visikositas* ditunjukkan pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Uji Parsial Respon *Visikositas*

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Metanol	4482	1955	2.2925	0.148	1.547
Air	1664	1832	0.9083	0.4596	1.782
metanol*air	-5702	8232	-0.69	0.56	2.410

Berdasarkan Tabel 4.12 dapat diketahui bahwa campuran air dan metanol tidak berpengaruh signifikan terhadap respon *visikositas*. Namun, variabel tersebut tetap dimasukkan dalam model. Sehingga model untuk variabel *visikositas* dinyatakan dalam persamaan (4.3)

$$\hat{y}_3 = 12696\text{metanol} + 1664\text{air} - 15838\text{air} * \text{metanol} \quad (4.3)$$

Model dari respon *visikositas* pada persamaan (4.3) mampu menjelaskan variasi total dari *visikositas* sebesar 40,38%. Model inilah yang selanjutnya akan digunakan sebagai masukan dalam menyusun fungsi *individual desirability*.

Pengujian Asumsi Residual

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

1. Asumsi Identik

Pengujian asumsi identik dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara residual dari model *visikositas* yang sudah didapatkan dengan faktor-faktor yang digunakan dalam model. Pengujian dilakukan dengan meregresikan nilai

absolut e_i dengan masing-masing faktor sehingga didapatkan hasil pada Tabel 4.13.

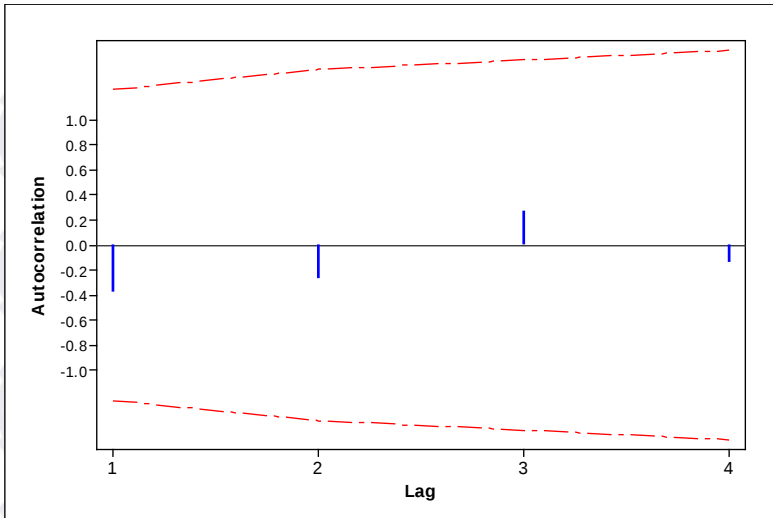
Berdasarkan Tabel 4.13 dapat diketahui hasil pengujian parameter dari regresi antara nilai absolut e_i dengan masing-masing faktor yang digunakan pada model *viskositas*. *P-value* dari masing-masing faktor bernilai lebih dari $\alpha=0,05$, tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara masing-masing faktor dengan absolut e_i sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi identik sudah terpenuhi.

Tabel 4.13 Uji Asumsi Residual Identik Viskositas

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Metanol	655.3	524.5	1.24938	0.338	1.547
Air	377	491.6	0.76688	0.5234	1.782
metanol*air	4664.7	2208.5	2.11	0.169	2.41

2. Asumsi Independen

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

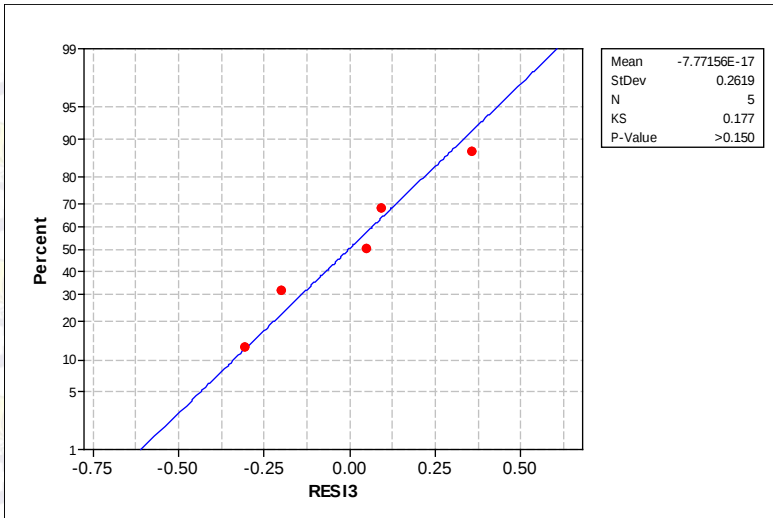


Gambar 4.5 ACF Residual Model *Visikositas*

Berdasarkan Gambar 4.5 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 dilakukan dengan membuat plot antara residual model orde dua untuk respon *visikositas* dengan nilai probabilitas normal. Hasil plot antara residual model orde dua *visikositas* dengan nilai probabilitas normal ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Normality Test Residual Model Visikositas

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pola residual mengikuti garis lurus dan p -value dari uji Kolmogorov-Smirnov adalah $>0,15$ atau lebih dari $\alpha=0,05$ sehingga disimpulkan bahwa residual memenuhi asumsi distribusi normal.

4.2 Desirability Function

Analisis Desirability diawali dengan menyusun fungsi *individual desirability* pada masing-masing variabel respon *strain*, *Modulus Elastisitas*, dan *visikositas*. Fungsi *individual desirability* ini kemudian dinyatakan dalam fungsi *global desirability* yang nilainya dimaksimumkan sehingga didapatkan kombinasi level faktor air dan metanol yang optimum secara serentak.

4.2.1 Fungsi Individual Desirability

Analisis menggunakan *desirability function* diawali dengan menyusun *individual desirability* dari masing-masing variabel respon *strain*, *Modulus Elastisitas*, dan *visikositas*. *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 Strain

Setiap respon dapat memiliki fungsi *individual desirability* yang berbeda-beda tergantung dari tujuan optimasinya. Karena tujuan optimasi dari variabel respon *strain* adalah *higher the better* maka *individual desirability* untuk variabel *strain* dibentuk berdasarkan Persamaan (2.15). Sehingga fungsi *individual desirability strain* dinyatakan pada Persamaan (4.4).

$$\left. \begin{aligned} \hat{y}_1 &= 0 & i < 0.5 \\ \hat{y}_1 &= [(i - 0.5) / (1.1 - 0.5)]^{r_i} & 0.5 \leq i \leq 1.1 \\ \hat{y}_1 &= 1 & i > 1.1 \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

$\hat{y}_1$ merupakan *individual desirability* untuk variabel *strain*, i adalah nilai taksiran *strain* optimum, dan r_i adalah bobot eksponensial yang nilainya sama dengan satu. Taksiran *strain* optimum atau i pada Persamaan (4.4) adalah model terbaik dari variabel respon *strain* pada Persamaan (4.1) yang telah didapatkan pada analisis *response surface*. *Desirability* untuk *strain* akan memiliki nilai antara nol sampai satu jika nilai prediksi respon optimumnya antara 0.5 sampai 1.1. Sehingga untuk nilai *strain* antara 0.5 sampai 1.1 fungsi *desirability* dapat dinyatakan pada Persamaan (4.5)

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

Dengan memasukkan model terbaik variabel *strain* Persamaan 4.1 pada variabel *Strain*, nilai spesifikasi minimum dari perusahaan sebagai $\text{strain}_{\min}$ dan nilai spesifikasi maksimum dari perusahaan sebagai $\text{strain}_{\max}$ pada persamaan (4.5), maka didapatkan fungsi *individual desirability* pada persamaan (4.6).

$$\begin{aligned}\hat{y}_1 &= \frac{(3.447 \text{ metanol} + 1.6 \text{ air} - 8.075 \text{ air} * \text{metanol}) - 0.5}{1.1 - 0.5} \\ &= \frac{(3.447 \text{ metanol} + 1.6 \text{ air} - 8.075 \text{ air} * \text{metanol}) - 0.5}{0.6}\end{aligned}\quad (4.6)$$

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

Fungsi Individual Desirability Variabel Modulus Elastisitas

Sama dengan variabel *strain*, tujuan optimasi dari variabel *Modulus Elastisitas* adalah *Larger the better*. Karena tujuan optimasi dari respon *Modulus Elastisitas* adalah *Larger the better* maka *individual desirability* untuk variabel *Modulus Elastisitas* dibentuk berdasarkan Persamaan (2.15) yang dinyatakan pada Persamaan (4.7).

$$\left. \begin{aligned}\hat{y}_2 &= 0 & i > 13 \\ \hat{y}_2 &= [(i-13)/(18-13)]^{r_i} & 13 \leq i \leq 18 \\ \hat{y}_2 &= 1 & i < 13\end{aligned}\right\} \quad (4.7)$$

dimana $\hat{y}_2$ merupakan *individual desirability* untuk variabel *Modulus Elastisitas*, i adalah nilai taksiran *Modulus Elastisitas* optimum, dan r_i adalah bobot eksponensial yang nilainya sama dengan satu. Taksiran *Modulus Elastisitas* optimum atau i pada persamaan (4.7) adalah persamaan untuk respon *Modulus Elastisitas* yang telah didapatkan pada analisis menggunakan *respon surface* yang ditunjukkan pada Persamaan (4.2). *Desirability* untuk *Modulus Elastisitas* akan memiliki nilai antara nol sampai satu jika nilai prediksi respon optimumnya anatara 13 s ampai 18 sehingga didapatkan fungsi *individual desirability* untuk variabel *Modulus Elastisitas* pada Persamaan (4.8).

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

Dengan memasukkan model terbaik variabel *Modulus Elastisitas* persamaan (4.2) pada variabel *Modulus Elastisitas*, nilai minimum yang diinginkan perusahaan sebagai *Modulus Elastisitas*_{min} dan nilai maksimum *Modulus Elastisitas* yang diinginkan perusahaan sebagai *Modulus Elastisitas*_{max} pada persamaan (4.8), maka didapatkan fungsi individual desirability pada persamaan (4.9).

$$\hat{y}_2 = \frac{(0.5432 \text{ metanol} + 16.6273 \text{ air} + 26.5065 \text{ air} * \text{metanol}) - 13}{18 - 13} \quad (4.9)$$

$$= \frac{(0.5432 \text{ metanol} + 16.6273 \text{ air} + 26.5065 \text{ air} * \text{metanol}) - 13}{5}$$

Persamaan (4.9) adalah fungsi *individual desirability* dari variabel respon *Modulus Elastisitas*. Fungsi individual ini kemudian akan digunakan untuk membentuk fungsi *global desirability* pada analisis selanjutnya.

Fungsi Individual Desirability Variabel Visikositas

Sama dengan variabel *strain*, tujuan optimasi dari variabel *visikositas* adalah apabila semakin besar nilainya maka semakin baik atau *higher the better*. Karena tujuan optimasi dari respon *visikositas* adalah *higher the better* maka individual desirability untuk variabel *visikositas* dibentuk berdasarkan Persamaan (2.15) yang dinyatakan pada Persamaan (4.10).

$$\left. \begin{array}{ll} \hat{y}_3 = 0 & i < 500 \\ \hat{y}_3 = [(i - 500) / (6000 - 500)]^{r_i} & 500 \leq i \leq 6000 \\ \hat{y}_3 = 1 & i > 6000 \end{array} \right\} \quad (4.10)$$

Dimana $\hat{y}_3$ merupakan *individual desirability* untuk variabel *visikositas*, i adalah nilai taksiran *visikositas* optimum, dan r_i adalah bobot eksponensial yang nilainya sama dengan satu. Taksiran *visikositas* optimum atau i pada persamaan (4.10) adalah persamaan untuk respon *visikositas* yang telah didapatkan pada analisis menggunakan *respon surface* yaitu persamaan (4.3). *Desirability* untuk *visikositas* akan memiliki nilai antara nol

sampai satu jika nilai prediksi respon optimumnya antara 500 dan 6000 sehingga didapatkan fungsi *individual desirability* yang dinyatakan pada persamaan (4.11).

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

Dengan memasukkan model terbaik variabel *visikositas* persamaan (4.3) pada variabel *Visikositas*, nilai maksimum yang diinginkan perusahaan sebagai $\text{Visikositas}_{\max}$ dan nilai minimum *visikositas* yang diinginkan perusahaan sebagai $\text{Visikositas}_{\min}$ pada persamaan (4.11), maka didapatkan fungsi *individual desirability* pada persamaan (4.12).

$$\begin{aligned} \hat{y}_3 &= \frac{(12696 \text{ metanol} + 1664 \text{ air} - 15838 \text{ air} * \text{metanol}) - 500}{6000 - 500} \\ &= \frac{(12696 \text{ metanol} + 1664 \text{ air} - 15838 \text{ air} * \text{metanol}) - 500}{5500} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Persamaan (4.12) adalah fungsi *individual desirability* dari variabel respon *visikositas*. 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*. 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 , Y_2 , dan Y_3 adalah fungsi *individual desirability* dari masing-masing variabel respon yang telah didapatkan sebelumnya. 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).

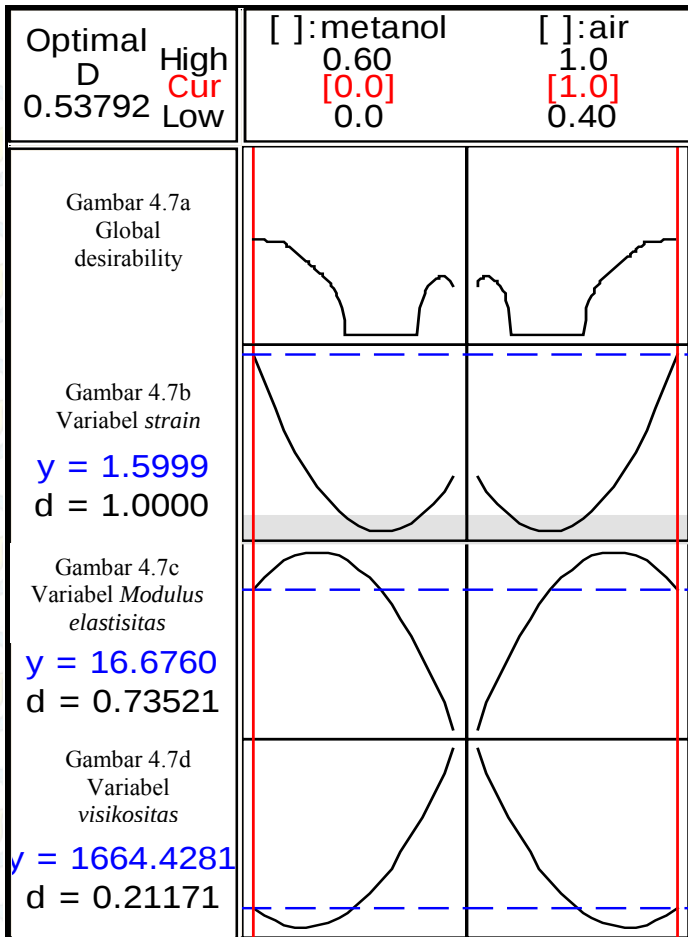
$$D = (Y_1^{0,33} \times Y_2^{0,33} \times Y_3^{0,33})^1 \quad (4.14)$$

Kemudian dengan memasukkan fungsi individual desirability variabel *strain* pada persamaan (4.6) sebagai Y_1 , Persamaan (4.9) sebagai Y_2 , dan persamaan (4.12) sebagai Y_3 fungsi *global desirability* dinyatakan pada persamaan (4.15).

$$D = \left(\frac{(3.447 \text{ metanol} + 1.6 \text{ air} - 8.075 \text{ air} * \text{metanol}) - 0.5}{0.6} \right)^{0,33} \times \left(\frac{(0.5432 \text{ metanol} + 16.6273 \text{ air} + 26.5065 \text{ air} * \text{metanol}) - 13}{5} \right)^{0,33} \times \left(\frac{(12696 \text{ metanol} + 1664 \text{ air} - 15838 \text{ air} * \text{metanol}) - 500}{5500} \right)^{0,33} \quad (4.15)$$

D adalah fungsi *global desirability*, untuk mendapatkan kombinasi level faktor air dan metanol yang optimum maka Persamaan (4.15) dimaksimumkan nilainya. D pada Persamaan (4.15)

Hasil optimasi serentak dengan pendekatan *desirability* menggunakan *minitab* ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pendekatan fungsi *desirability*

Gambar 4.7 menunjukkan fungsi *desirability* dari setiap respon, dimana variabel respon ditunjukkan dengan garis putus-putus horizontal, sedangkan variabel prediktor berdasarkan garis vertikal, dengan terdapat 4 gambar yang terdiri dari gambar untuk fungsi global *desirability* berdasarkan Persamaan 4.15 untuk Gambar 4.7a, gambar fungsi *desirability* untuk variabel *strain* berdasarkan Persamaan 4.6 untuk Gambar 4.7b, Gambar fungsi

desirability untuk variabel modulus elastisitas berdasarkan Persamaan 4.9 untuk Gambar 4.7c dan gambar fungsi desirability untuk variabel visikositas berdasarkan Persamaan 4.12 untuk Gambar 4.7d.

Jika dilihat dari Gambar 4.7a fungsi global desirability terlihat metanol dan air akan maksimum pada proporsi 1 dan 0 yang kemudian menurun perlahan jika proporsi metanol diperbesar dan air diperkecil hingga proporsi metanol menjadi 0.2974 dan air menjadi 0.7206, yang kemudian naik secara drastis pada proporsi metanol 0.49 hingga 0.56 dan air 0.51 hingga 0.44, dan berakhir menurun hingga proporsi metanol 0.6 dan air 0.4. Pada Gambar 4.7b fungsi desirability untuk variabel strain terlihat bahwa nilai strain akan maksimum pada proporsi metanol 0 dan proporsi air 1, yang kemudian menurun perlahan hingga proporsi metanol menjadi 0.386 dan air menjadi 0.614, dan kemudian naik perlahan sampai proporsi metanol menjadi 0.6 dan air menjadi 0.4. Gambar 4.7c fungsi desirability untuk variabel modulus elastisitas akan naik secara perlahan dari proporsi metanol 0 menjadi 0.19 dan proporsi 1 menjadi 0.81 yang kemudian terus turun hingga proporsi metano menjadi 0.6 dan air menjadi 0.4. Gambar 4.7d fungsi desirability untuk variabel visikositas terlihat visikositas awalnya menurun dari proporsi metanol 0 menjadi 0.16 dan air 1 menjadi 0.84, yang kemudian visikositas akan terus menaik hingga proporsi metanol menjadi 0.6 dan air menjadi 0.4.

Berdasarkan Gambar 4.7 didapatkan hasil yaitu variabel respon maksimum dengan menggunakan komposisi air 1 dan metanol 0, yang menghasilkan respon strain 1,599 MPa, visikositas 1664,4281 Cp dan modulus elastisitas 16,676 MPa.

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. Hasil pemodelan terhadap masing-masing respon didapatkan model yang signifikan pada respon modulus elastisitas dengan nilai R^2 sebesar 97.88%, sedangkan pada respon *strain* dan *visikositas* model yang didapatkan tidak signifikan dengan nilai R^2 sebesar 76.07% dan 40,38%.
2. Hasil optimasi dengan *fungsi desirability* diperoleh hasil yaitu dengan proporsi air 1 dan metanol 0 dengan nilai *strain* 1,5999 MPa, *modulus elastisitas* 16,676 MPa, dan *viskositas* 1664,4281 Cp.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian berikutnya diharapkan dalam penentuan rancangan eksperimen dilakukan lebih cermat agar bisa didapatkan model yang baik untuk mengoptimasi perekat PVAc.
2. Dalam optimasi multirespon menggunakan fungsi *desirability*, pemberian bobot pada tiap respon sebaiknya dapat ditentukan dengan lebih teliti agar didapatkan hasil yang lebih baik.



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

DAFTAR PUSTAKA

- Adamsons, Arthur W. (1982), "Physical Chemistry of Surface", A Wiley-Interscience Publication, United State of America
- Castillo, D. E., Montgomery, D. C., & McCarville, D. D. (1996). Desirability Function for Multiple Response Optimization. *Journal of Technology*, Vol. 28, No. 3.
- Daniel, W. (1989). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Drapper, N. R., & Smith, H. (1992). *Analisis Regresi Terapan Edisi Kedua*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka.
- Erbil, Yildirim H., 2010, "Vinyl Acetate Emulsion Polymerization and Copolymerization with Acrylic Monomers", CRC Press, United State of America
- Flavin C. dan N. Lenssen, (1995), "Gelombang Revolusi Energi", Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Gujarati, D. N. (2004). *Basic Econometrics: Fourth Edition*. New Delhi: The Mc-Graw Hill Companies.
- Greenwood, N.N., 1997, "Chemistry of The Elements", Roed Educational and Profesional Publishing, UK
- Khuri, A. I., & Cornell, J. A. (1996). *Response surface Design and Analysis*. New York : Marcell Dekker.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1980, "Encyclopedia of Chemical Technology 3rd edition Vol. 4", The Inter Science Encyclopedia, Inc., New York
- Kumar, A., and Gupta, R.K., 1998, "Fundamental of Polymer", International Edition The Mc Graw-Hill Co Inc, Singapore
- 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.
- Meiwika, Sari. (2014). *Sintesis Polivinil Asetat Berbasis Pelarut Metanol yang Terstabilkan oleh Disponil*. Tugas Akhir S1 : Jurusan Kimia, Institut Teknologi Nopember
- Montgomery, D. C. (1997). *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley, Sons.

- Myers, Raymond H. 1971. *Response Surface Methodology*, Boston : Allyn & Bacon, Inc.
- Oxtoby, 2002, "Prinsip-prinsip Kimia Modern/1 Ed.4", Erlangga, Jakarta
- Park, S. H. (1996). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. London: Chapman&Hall.
- Rolando T. E. (1998), *Solvent-Free Adhesives*, H.B. Fuller Company.
- Salager, J.L., 2002, "Surfactants Types and Uses", Version 2, FIRP Booklet #E300-A: Teaching Aid in Surfactant Science & Engineering in English, Universidad De Los Andes, Mérida-Venezuela
- Stevent, M, P., 1995, "Polymer Chemistry", Oxford University Press, Inc., England
- Wei, W. (2006). *Time series Analysis Univariate and Multivariate Methods*. Philadelphia: Pearson Addison Wesley.

Lampiran 1 :**Data Rancangan Eksperimen Pembuatan Perekat PVAc**

Air	Methanol	Strain (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Visikositas (Cp)
0.375	0.625	0.09500	16.747	1000
0.250	0.750	0.59700	17.891	5000
0.125	0.875	1.30800	17.139	3000
0.000	1.000	1.40000	16.765	2000
0.600	0.400	0.86500	13.324	0

Lampiran 2:**Output Model *Response Surface* Variabel Strain****Regression for Mixtures: strain versus metanol, air**

Estimated Regression Coefficients for strain
(pseudocomponents)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
metanol	0.770	0.3633	*	*	1.547
air	1.600	0.3405	*	*	1.782
metanol*air	-2.907	1.5298	-1.90	0.198	2.410

S = 0.370344 PRESS = 8.66427

R-Sq = 76.07% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 52.15%

Analysis of Variance for strain (pseudocomponents)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0.87217	0.872169	0.436085	3.18	0.239
Linear	1	0.37692	0.409172	0.409172	2.98	0.226
Quadratic	1	0.49525	0.495248	0.495248	3.61	0.198
metanol*air	1	0.49525	0.495248	0.495248	3.61	0.198
Residual Error	2	0.27431	0.274309	0.137154		
Total	4	1.14648				

Estimated Regression Coefficients for strain
(component amounts)

Term	Coef
metanol	3.44700
air	1.59986
metanol*air	-8.07511

Lampiran 2:

Output Model *Response Surface* Variabel *Modulus elastisitas*

Regression for Mixtures: modulus elastisitas versus metanol, air

Estimated Regression Coefficients for modulus elastisitas (pseudocomponents)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
metanol	13.301	0.4036	*	*	1.547
air	16.676	0.3782	*	*	1.782
metanol*air	9.039	1.6993	5.32	0.034	2.410

S = 0.411372

PRESS = 1.62384

R-Sq = 97.26%
94.51%

R-Sq(pred) = 86.84%

R-Sq(adj) =

Analysis of Variance for modulus elastisitas (pseudocomponents)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	11.9981	11.99809	5.99905	35.45	0.027
Linear	1	7.2095	6.76980	6.76980	40.00	0.024
Quadratic	1	4.7886	4.78858	4.78858	28.30	0.034
metanol*air	1	4.7886	4.78858	4.78858	28.30	0.034
Residual Error	2	0.3385	0.33845	0.16923		
Total	4	12.3365				

Estimated Regression Coefficients for modulus elastisitas (component amounts)

Term	Coef
metanol	1.00713
air	16.6760
metanol*air	25.1096

Lampiran 3:Output Model *Response Surface* Variabel visikositas**Regression for Mixtures: visikositas versus metanol, air**Estimated Regression Coefficients for visikositas
(pseudocomponents)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
metanol	4482	1955	*	*	1.547
air	1664	1832	*	*	1.782
metanol*air	-5702	8232	-0.69	0.560	2.410

S = 1992.88

PRESS = 231598139

R-Sq = 46.33%

R-Sq(pred) = 0.00%

R-Sq(adj) = 0.00%

Analysis of Variance for visikositas
(pseudocomponents)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	6856821	6856821	3428411	0.86	0.537
Linear	1	4951692	4719379	4719379	1.19	0.390
Quadratic	1	1905129	1905129	1905129	0.48	0.560
metanol*air	1	1905129	1905129	1905129	0.48	0.560
Residual Error	2	7943179	7943179	3971589		
Total	4	14800000				

Estimated Regression Coefficients for visikositas
(component amounts)

Term	Coef
metanol	12696.2
air	1664.43
metanol*air	-15838.0

Lampiran 4:Output Uji Identik Variabel *strain***Regression for Mixtures: e1 versus metanol, air**Estimated Regression Coefficients for e1
(pseudocomponents)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
metanol	0.1085	0.1683	*	*	1.547
air	0.2290	0.1577	*	*	1.782
metanol*air	0.2113	0.7086	0.30	0.794	2.410

S = 0.171541

PRESS = 0.332447

R-Sq = 16.47%

R-Sq(pred) = 0.00%

R-Sq(adj) = 0.00%

Analysis of Variance for e1 (pseudocomponents)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0.011606	0.011606	0.005803	0.20	0.835
Linear	1	0.008990	0.008621	0.008621	0.29	0.643
Quadratic	1	0.002615	0.002615	0.002615	0.09	0.794
metanol*air	1	0.002615	0.002615	0.002615	0.09	0.794
Residual Error	2	0.058853	0.058853	0.029426		
Total	4	0.070458				

Lampiran 5:Output Uji Identik Variabel *Modulus elastisitas***Regression for Mixtures: e2 versus metanol, air**Estimated Regression Coefficients for e2
(pseudocomponents)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
metanol	-0.00282	0.09639	*	*	1.547
air	0.12328	0.09034	*	*	1.782
metanol*air	1.15118	0.40587	2.84	0.105	2.410

S = 0.0982537 PRESS = 0.577445

R-Sq = 82.21% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 64.43%

Analysis of Variance for e2 (pseudocomponents)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0.089249	0.089249	0.044625	4.62	0.178
Linear	1	0.011587	0.009450	0.009450	0.98	0.427
Quadratic	1	0.077662	0.077662	0.077662	8.04	0.105
metanol*air	1	0.077662	0.077662	0.077662	8.04	0.105
Residual Error	2	0.019308	0.019308	0.009654		
Total	4	0.108557				

Lampiran 6:Output Uji Identik Variabel *visikositas***Regression for Mixtures: e3 versus metanol, air**Estimated Regression Coefficients for e3
(pseudocomponents)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
metanol	655.3	524.5	*	*	1.547
air	377.0	491.6	*	*	1.782
metanol*air	4664.7	2208.5	2.11	0.169	2.410

S = 534.644

PRESS = 18180015

R-Sq = 69.54%

R-Sq(pred) = 0.00%

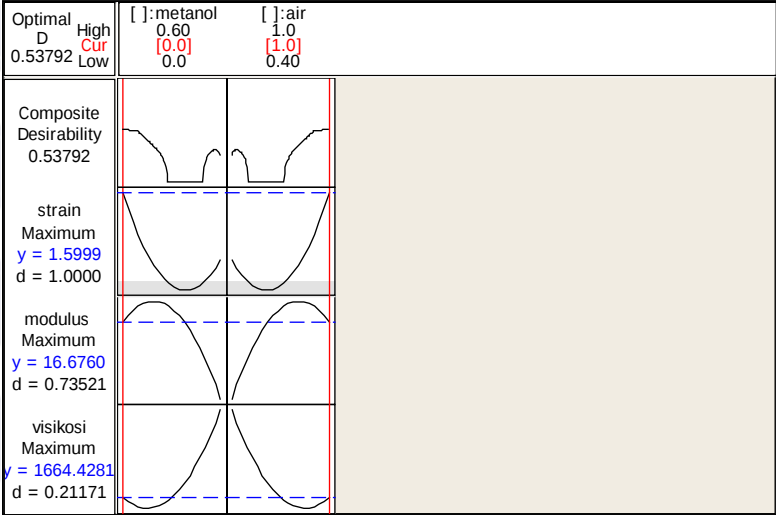
R-Sq(adj) =

39.07%

Analysis of Variance for e3 (pseudocomponents)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	1304992	1304992	652496	2.28	0.305
Linear	1	29846	46054	46054	0.16	0.727
Quadratic	1	1275146	1275146	1275146	4.46	0.169
metanol*air	1	1275146	1275146	1275146	4.46	0.169
Residual Error	2	571688	571688	285844		
Total	4	1876680				

Lampiran 7:
Output Optimasi dengan fungsi desirability



BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Rizqi Ilman Mubarak. Penulis lahir di Tulungagung, pada tanggal 20 September tahun 1993. Jenjang pendidikan yang telah ditempuh penulis adalah Sekolah Dasar di SD NU 10 Dukuh Dempok pada (1999-2005), SMP 06 Diponegoro Wuluhan (2005-2008), SMA Negeri Ambulu (2008-2011).

Setelah lulus SMA penulis mendaftar di Jurusan Statistika ITS melalui jalur SNMPTN tulis dan tercatat sebagai mahasiswa Statistika FMIPA ITS dan keluarga sigma22 dengan NRP 1311100105. Selama menempuh kuliah di Jurusan Statistika ITS, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah aktif di staff PPSDM FORSIS-ITS periode 1433-1434. Penulis juga aktif dalam menulis pada Program Kreatifitas Mahasiswa.

Segala saran dan kritik yang membangun selalu penulis harapkan untuk kebaikan ke depannya. Penulis dapat dihubungi di canabis29rizqi@gmail.com.