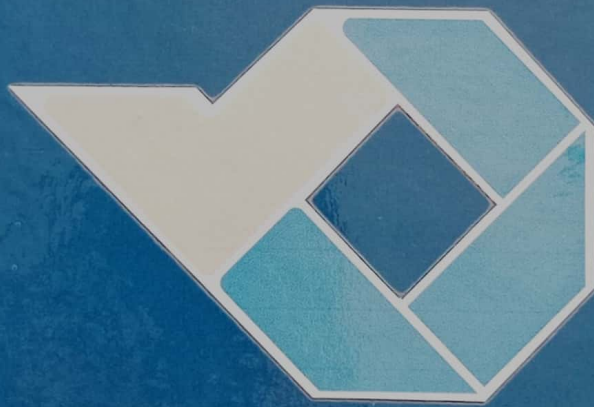


**PENGARUH BENTUK PENGUAT TERHADAP KUAT TEKAN  
CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE**

**PROYEK AKHIR**

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan  
Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh :

Maharani Febri Endya

NIM: 1041917

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**TAHUN 2022/2023**

**PENGARUH BENTUK PENGUAT TERHADAP KUAT TEKAN**  
***CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE***

**PROYEK AKHIR**

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh :

Maharani Febri Endya

NIM: 1041917

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**TAHUN 2022/2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH BENTUK PENGUAT TERHADAP KUAT TEKAN  
CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE**

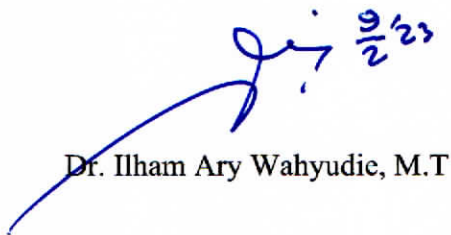
Oleh :

Maharani Febri Endya / 1041917

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan  
Program Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka  
Belitung

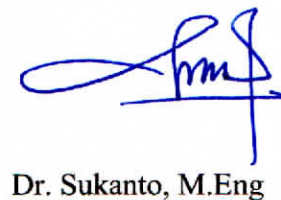
Menyetujui,

Pembimbing 1



Dr. Ilham Ary Wahyudic, M.T

Pembimbing 2



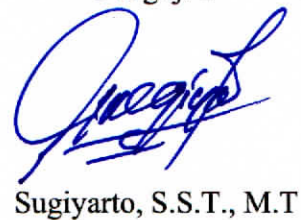
Dr. Sukanto, M.Eng

Penguji 1



Nanda Pranandita, S.S.T., M.T

Penguji 2



Sugiyarto, S.S.T., M.T

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Maharani Febri Endya

NIM : 1041917

Dengan judul : Pengaruh Bentuk Penguat Terhadap Kuat Tekan *Cellular Lightweight Concrete*

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 26 Desember 2022

Nama Mahasiswa

1. Maharani Febri Endya

Tanda Tangan



## ABSTRAK

*Penggunaan plastik sudah menjadi hal yang umum di berbagai kehidupan. Efek dari pemakaian produk plastik tersebut yaitu menciptakan limbah plastik. Seiring bertambahnya populasi penduduk maka penumpukan sampah plastik akan semakin meningkat. Sehingga dapat dilakukan dengan menerapkan metode 3R yaitu reduce, reuse, dan recycle. Sampah plastik dimanfaatkan sebagai bahan penguat bata ringan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk filler terhadap ikatan mekanik CLC dan faktor yang paling mempengaruhi nilai densitas dan kuat tekan CLC. Metode yang digunakan yaitu Response Surface Methodology (RSM). Rancangan eksperimen dipilih Central Composite Design dengan 3 faktor. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini yaitu jumlah plastik, fraksi pasir : semen, dan volume air. Jumlah plastik yang digunakan yaitu 2 gram, 3 gram, dan 4 gram. Fraksi pasir : semen yaitu 4 : 3, 3.3 : 2, dan 2 : 1. Volume air yang digunakan sebanyak 60 mL, 80 mL, dan 100 mL. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa respon permukaan untuk densitas dan kuat tekan dari persamaan second order yaitu saddle point dengan titik optimal terletak di stationary point. Stationary point pada densitas yaitu 5,181, 2,462 dan 110,852. Sedangkan stationary point kuat tekan yaitu -11,309, -2,158 dan -360,390. Berdasarkan hasil analisis varian menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai densitas adalah fraksi pasir : semen, sedangkan untuk nilai kuat tekan tidak terdapat faktor yang berpengaruh.*

Kata kunci : CLC, Densitas, Kuat Tekan, Plastik PET, RSM

## **ABSTRACT**

*The use of plastic has become a common thing in various lives. The effect of using these plastic products is to create plastic waste. As the population increases, the accumulation of plastic waste will increase. So that it can be done by applying the 3R method, namely reduce, reuse, and recycle. Plastic waste is used as a lightweight brick reinforcement material. The purpose of this study was to determine the effect of filler form on the mechanical bonding of CLC and the factors that most influence the value of density and compressive strength of CLC. The method used is the Response Surface Methodology (RSM). The experimental design was chosen Central Composite Design with 3 factors. The independent variables used in this study were the amount of plastic, the fraction of sand : cement, and the volume of water. The amount of plastic used is 2 grams, 3 grams and 4 grams. The fraction of sand : cement was 4 : 3, 3.3 : 2, and 2 : 1. The volume of water used was 60 mL, 80 mL, and 100 mL. The results of this study indicate that the surface response for density and compressive strength from the second order equation is the saddle point with the optimal point located at the stationary point. Stationary points on density are 5.181, 2.462 and 110.852. Meanwhile, the stationary points for compressive strength are -11.309, -2.158 and -360.390. Based on the results of the analysis of variance, it shows that the most influential factor on the density value is the fraction of sand: cement, while for the compressive strength value there is no factor that has an effect.*

*Keywords : CLC, Density, Compressive Strength, PET Plastic, RSM*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur atas kehadiran Allah Swt. karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Bentuk Penguat Terhadap Kuat Tekan *Cellular Lightweight Concrete*” ini dapat diselesaikan. Laporan Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah Swt. karena atas nikmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta Bapak Hendri dan Ibu Sri Rahayu karena atas ridho, dukungan, kasih sayang serta doa yang tak pernah putus sehingga diberikan kelancaran dan semoga dapat bermanfaat.
3. Keluarga serta adik-adik tersayang Clara Titania Endya, Racca Three Daffa Endya, dan Diffa Dzalzabilla Endya yang selama ini telah memberikan semangat dan perhatian untuk penulis.
4. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie, M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Sukanto, M.Eng. selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan ilmu dan arahan dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Yuliyanto, S.S.T., M.T. yang telah banyak membantu dalam proses pengujian kuat tekan.
7. Bapak Nanda Pranandita, S.S.T., M.T. selaku dosen penguji 1 dan Bapak Sugiyarto, S.S.T., M.T. selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan dan saran pada Laporan Tugas Akhir ini.
8. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

9. Bapak Pristiansyah, S.S.T, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
10. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
11. Segenap dosen yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama penulis kuliah di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
12. Teman-teman TMM A angkatan 2019 dan semua pihak yang telah membantu serta mendukung dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar penulisan ini dapat bermanfaat untuk kedepannya.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Sungailiat, 26 Desember 2022

Penulis



Maharani Febri Endya



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT .....	iii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
BAB II DASAR TEORI .....	4
2.1. Penelitian Terdahulu .....	4
2.2. Bata Ringan .....	5
2.2.1. <i>Cellular Lightweight Concrete</i> .....	5
2.2.2. <i>Autoclaved Aerated Concrete</i> .....	6
2.3. Material Bata Ringan .....	6
2.3.1. Semen .....	6
2.3.2. Pasir .....	7
2.3.3. Air .....	7
2.3.4. <i>Foaming Agent</i> .....	8
2.3.5. Plastik .....	8
2.4. Pengujian .....	10
2.4.1. <i>Mechanical Interlocking</i> (Ikatan Mekanik) .....	10
2.4.2. Densitas .....	10

2.4.3. Kuat Tekan.....	10
2.5. Rancangan <i>Response Surface</i> dan Analisis .....	11
2.5.1. <i>Response Surface Methodology</i> .....	11
2.5.2. <i>Central Composite Design</i> .....	13
2.5.3. <i>Equiradial Designs</i> .....	13
2.5.4. Analisis Persamaan <i>Second-Order</i> .....	14
2.5.5. Lokasi Titik Stasioner ( <i>Stationary Point</i> ) .....	15
2.5.6. Analisis Kanonikal.....	17
2.5.7. Uji Normalitas.....	17
2.5.8. Analisis Varian (Anova) .....	17
2.5.9. Uji Ketidaksesuaian Persamaan ( <i>Lack of Fit</i> ).....	18
2.5.10. Uji Koefisien Determinasi ( $R^2$ ).....	18
2.6. Diagram Sebab-Akibat .....	19
<b>BAB III METODE PELAKSANAAN .....</b>	<b>20</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	20
3.2. Studi Literatur.....	21
3.3. Rancangan Eksperimen .....	21
3.3.1. Identifikasi Variabel Penelitian.....	21
3.3.2. Variabel Penelitian.....	22
3.3.3. Menentukan Faktor dan Level Eksperimen .....	22
3.3.4. Menentukan Kode Variabel Bebas .....	22
3.3.5. Menentukan Nilai Variabel Bebas .....	23
3.4. Persiapan Alat dan Material Percobaan.....	23
3.4.1. Alat Percobaan .....	23
3.4.2. Material Percobaan .....	28
3.5. Lokasi Penelitian .....	31
3.6. Eksperimen.....	31
3.7. Pengujian Sampel .....	31
3.7.1. Uji <i>Mechanical Interlocking</i> .....	32
3.7.2. Analisis Mikroskopik.....	32
3.7.3. Uji Densitas.....	32

3.7.4. Uji Kuat Tekan.....	32
3.8. Pengumpulan Data .....	32
3.9. Analisis Data .....	33
BAB IV PEMBAHASAN.....	34
4.1. Peran Bentuk <i>Filler</i> .....	34
4.2. Pengambilan Data.....	36
4.3. Analisis Data Respon Densitas.....	36
4.3.1. Perhitungan Nilai Densitas .....	36
4.3.2. Uji Normalitas.....	38
4.3.3. Sampel Analisis Varian ( <i>Anova</i> ).....	39
4.3.4. Persamaan <i>Second Order</i> .....	42
4.3.5. Uji Ketidaksesuaian Persamaan Regresi ( <i>Lack of Fit</i> ).....	48
4.3.6. Analisis Koefisien Determinasi .....	49
4.3.7. Menentukan <i>Stationary Point</i> ( $X_0$ ) .....	50
4.3.8. Menentukan Nilai Optimum dari Faktor $X_1$ , $X_2$ , dan $X_3$ .....	51
4.3.9. Menentukan Prediksi Nilai Respon Densitas Pada <i>Stationary Point</i> ...	53
4.3.10. Analisis Kanonikal.....	54
4.3.11. Grafik <i>Surface Plot</i> .....	54
4.3.12. Grafik <i>Contour Plot</i> .....	56
4.4. Analisis Data Respon Kuat Tekan.....	58
4.4.1. Perhitungan Nilai Kuat Tekan.....	58
4.4.2. Uji Normalitas.....	60
4.4.3. Sampel Analisis Varian ( <i>Anova</i> ).....	60
4.4.4. Persamaan <i>Second Order</i> .....	63
4.4.5. Uji Ketidaksesuaian Persamaan Regresi ( <i>Lack of Fit</i> ).....	69
4.4.6. Analisis Koefisien Determinasi .....	70
4.4.7. Menentukan <i>Stationary Point</i> ( $X_0$ ) .....	71
4.4.8. Menentukan Prediksi Nilai Kuat Tekan Pada <i>Stationary Point</i> ( $X_0$ )...	72
4.4.9. Analisis Kanonikal.....	72
4.4.10. Grafik <i>Surface Plot</i> .....	73
4.4.11. Grafik <i>Contour Plot</i> .....	75

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA .....	79



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Plastik, Kode dan Penggunaannya .....	9
Tabel 2. 2 Tabel Anova Regresi Berganda .....	18
Tabel 3. 1 Faktor dan Nilai Level Eksperimen .....	22
Tabel 3. 2 Kode Variabel Bebas .....	22
Tabel 3. 3 Nilai Variabel Bebas .....	23
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Massa Bata Ringan di Udara dan di Air .....	37
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Densitas .....	37
Tabel 4. 3 Analisis Varian.....	39
Tabel 4. 4 Analisis Varian.....	41
Tabel 4. 5 Model <i>Summary</i> .....	49
Tabel 4. 6 Model <i>Summary</i> .....	49
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kuat Tekan .....	59
Tabel 4. 8 Analisis Varian.....	61
Tabel 4. 9 Analisis Varian.....	63
Tabel 4. 10 Model <i>Summary</i> .....	70
Tabel 4. 11 Model <i>Summary</i> .....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Permukaan Respon ( <i>Response Surface</i> ) .....	11
Gambar 2. 2 Plot Kontur ( <i>Contour Plot</i> ) .....	12
Gambar 2. 3 <i>Central Composite Designs</i> untuk $k = 3$ .....	14
Gambar 2. 4 <i>Type of Points</i> CCD.....	14
Gambar 2. 5 Respon permukaan dan plot kontur pada titik maksimum.....	15
Gambar 2. 6 Respon permukaan dan plot kontur pada titik minimum .....	15
Gambar 2. 7 Respon permukaan dan plot kontur pada <i>saddle point</i> .....	16
Gambar 2. 8 Diagram Sebab-Akibat.....	19
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	20
Gambar 3. 2 Diagram <i>Fishbone</i> .....	21
Gambar 3. 3 <i>Foam Generator</i> .....	23
Gambar 3. 4 <i>Mixer</i> .....	24
Gambar 3. 5 Timbangan digital .....	24
Gambar 3. 6 Gelas ukur .....	25
Gambar 3. 7 Cetakan sampel .....	25
Gambar 3. 8 Ember .....	26
Gambar 3. 9 Ragum .....	26
Gambar 3. 10 Tang.....	27
Gambar 3. 11 Mesin Uji Tekan <i>Zwick Roell</i> .....	27
Gambar 3. 12 Mikroskop Digital .....	28
Gambar 3. 13 Botol plastik yang dilubangi .....	28
Gambar 3. 14 Semen.....	29
Gambar 3. 15 Pasir.....	29
Gambar 3. 16 <i>Foaming agent</i> .....	30
Gambar 3. 17 Aquades.....	30
Gambar 4. 1 Bentuk <i>Filler</i> .....	34
Gambar 4. 2 Bentuk <i>Filler</i> Berlubang.....	34
Gambar 4. 3 <i>Filler</i> Pada Komposit .....	35

Gambar 4. 4 Jejak matrik pengikat <i>filler</i> .....	35
Gambar 4. 5 Sampel Bata Ringan .....	36
Gambar 4. 6 Sampel bata ringan ditimbang di udara dan di air.....	36
Gambar 4. 7 Grafik <i>Normal Plot of the Standardized Effects</i> .....	38
Gambar 4. 8 <i>Surface plot</i> densitas antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik.....	55
Gambar 4. 9 <i>Surface plot</i> densitas antara volume air dan jumlah plastik .....	55
Gambar 4. 10 <i>Surface plot</i> densitas antara volume air dan fraksi pasir : semen ..	56
Gambar 4. 11 <i>Contour plot</i> densitas antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik .....	57
Gambar 4. 12 <i>Contour plot</i> densitas antara volume air dan jumlah plastik.....	57
Gambar 4. 13 <i>Contour plot</i> densitas antara volume air dan fraksi pasir : semen .....	58
Gambar 4. 14 Bata ringan sebelum dan sesudah dilakukan uji tekan .....	59
Gambar 4. 15 Grafik <i>Normal Plot of the Standardized Effects</i> .....	60
Gambar 4. 16 <i>Surface plot</i> kuat tekan antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik .....	73
Gambar 4. 17 <i>Surface plot</i> kuat tekan antara volume air dan jumlah plastik .....	74
Gambar 4. 18 <i>Surface plot</i> kuat tekan antara volume air dan fraksi pasir : semen .....	74
Gambar 4. 19 <i>Contour plot</i> kuat tekan antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik .....	75
Gambar 4. 20 <i>Contour plot</i> kuat tekan antara volume air dan jumlah plastik .....	76
Gambar 4. 21 <i>Contour plot</i> kuat tekan antara volume air dan fraksi pasir : semen .....	76

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Daftar Riwayat Hidup
- Lampiran 2 : Perhitungan Level Eksperimen
- Lampiran 3 : Perhitungan Nilai Variabel Bebas
- Lampiran 4 : Sampel Uji Densitas
- Lampiran 5 : Perhitungan Densitas
- Lampiran 6 : Perhitungan Persamaan *Second Order* Densitas di Perangkat Lunak Minitab
- Lampiran 7 : Sampel Uji Kuat Tekan
- Lampiran 8 : Perhitungan Kuat Tekan
- Lampiran 9 : Perhitungan Persamaan *Second Order* Kuat Tekan di Perangkat Lunak Minitab
- Lampiran 10 : Lampiran Spesifikasi Mikroskop Digital



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Saat ini penggunaan produk berbahan plastik sudah tidak asing lagi di berbagai kehidupan. Plastik memiliki sifat yang kuat, ringan, tahan air, mudah dibentuk, murah, dan tidak berkarat sehingga menjadikan plastik sebagai bahan baku dalam pembuatan produk keperluan sehari-hari. Namun, efek dari pemakaian produk plastik tersebut akan menciptakan sampah atau limbah plastik. Sampah plastik akan semakin meningkat dan dapat mencemari lingkungan jika tidak segera diatasi. Penumpukan sampah plastik akan meningkat seiring bertambahnya populasi penduduk. Apabila penumpukan sampah plastik semakin mengalami peningkatan dari waktu ke waktu maka ini akan menjadi pemicu terjadinya masalah yang besar bagi masyarakat. Hingga saat ini sampah plastik masih menjadi masalah utama yang belum bisa diselesaikan. Zaman sekarang semakin banyak industri terutama industri makanan dan minuman yang menggunakan produk plastik. Siklus penggunaan produk plastik itu dimulai dari tahap produksi, konsumsi, dan akhirnya terbuang menjadi sampah jika sudah tidak digunakan lagi. Dampak dari permasalahan sampah yang masih belum terselesaikan ini yaitu sering terjadinya banjir karena kurangnya kesadaran masyarakat untuk membuang sampah pada tempatnya, dapat mencemari lingkungan (darat, laut, dan udara), serta munculnya berbagai penyakit seperti penyakit kulit, diare bahkan kanker.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik tahun 2021 bahwa limbah plastik Indonesia mencapai 66 juta ton per tahun. Studi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) tahun 2018 juga memperkirakan bahwa sekitar 0,26 juta - 0,59 juta ton sampah plastik mengalir ke laut. Menurut Jambeck (2018) dalam Juliani *et al.*, (2022) bahwa Indonesia sebagai negara dengan limbah atau sampah plastik laut terbesar kedua di dunia. Oleh karena itu, kesadaran kita sebagai konsumen sangat diperlukan untuk membantu mengurangi penumpukan sampah plastik. Jika

produk plastik sudah tidak terpakai lagi maka dapat dilakukan pemanfaatan ulang atau daur ulang sampah plastik agar menjadi produk yang lebih bermanfaat atau memiliki nilai guna. Akan tetapi, jika produk daur ulang tersebut sudah tidak memiliki nilai guna lagi maka akan kembali menjadi sampah plastik yang masih menjadi masalah utama dalam kehidupan. Penumpukan sampah plastik tidak disarankan untuk dibakar agar berkurang karena asap atau gas yang dihasilkan dalam pembakaran sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh dan dapat mencemari udara. Adapun metode untuk mengurangi penumpukan sampah plastik dengan menerapkan 3R yaitu *reduce*, *reuse*, dan *recycle* (Wibowo dan Izzuddin, 2021). Salah satu pemanfaatan sampah plastik dapat dijadikan sebagai bahan penguat pada bata ringan. Bata ringan termasuk komposit karena terdiri dari *filler* dan matriks (Umam *et al.*, 2019). Saat ini pembuatan material komposit sudah menjadi hal yang umum di industri manufaktur karena memanfaatkan barang sisa pakai yang dapat didaur ulang.

Dewasa ini bata ringan atau hebel mulai banyak digunakan sebagai dinding bangunan karena massanya yang lebih ringan dibandingkan bata konvensional (Salim *et al.*, 2019). Bata ringan memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi daripada bata merah karena pengikat bata ringan berupa semen sedangkan bata merah berupa tanah liat. Selain itu juga, proses produksi bata ringan juga cukup sederhana dan hemat waktu. Bata ringan memiliki dua jenis yaitu *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Dari segi pengeringan, bata ringan *Autoclaved Aerated Concrete* menggunakan mesin khusus (oven autoklaf bertekanan tinggi), sedangkan bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* pengeringannya masih dilakukan secara alami dengan memanfaatkan sinar atau panas matahari (Suryanita, 2020).

Pada penelitian ini akan dilakukan pemanfaatan sampah plastik untuk mengurangi penumpukan sampah plastik. Sampah plastik akan digunakan sebagai pengisi/*filler* bata ringan. Perbedaan bentuk *filler* mempengaruhi nilai kekerasan material komposit (Firdaus *et al.*, 2018). Pada penelitian ini akan diuji pengaruh bentuk penguat terhadap ikatan mekanik (*mechanical interlocking*) dan kekuatan tekan bata ringan. Bata ringan yang digunakan adalah bata ringan jenis *Cellular*

*Lightweight Concrete* (CLC) dan sampah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET).

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh bentuk *filler* terhadap ikatan mekanik CLC?
2. Bagaimana pengaruh bentuk *filler* terhadap densitas CLC?
3. Bagaimana pengaruh bentuk *filler* terhadap kuat tekan CLC?

### **1.3. Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh bentuk *filler* terhadap ikatan mekanik CLC.
2. Untuk mengetahui pengaruh bentuk *filler* terhadap densitas CLC.
3. Untuk mengetahui pengaruh bentuk *filler* terhadap kuat tekan CLC.

### **1.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah agar penelitian ini lebih terfokus dan terarah adalah sebagai berikut :

1. Plastik yang digunakan pada penelitian ini adalah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET).
2. Pengujian yang dilakukan yaitu uji mikroskopik, uji densitas, dan uji tekan.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Menurut Tjaronge *et al.*, (2019) dalam penelitiannya yang berjudul “Sifat Mortar Berbahan Dasar Limbah Plastik *Polypropylene* (PP) dan Abu Sekam Padi”. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah penambahan abu sekam padi ke dalam campuran mortar, nilai serapan air dan kuat tekan hampir sama dengan mortar biasa tanpa plastik.

Menurut Mohsa *et al.*, (2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Studi Pengaruh Agregat Plastik pada Beton dan Dampaknya terhadap Lingkungan”. Jumlah pengganti agregat plastik mulai dari 38,9%-50%. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton agregat plastik lebih rendah dibandingkan dengan beton kontrol. Pengujian *Scanning Electron Microscope* dilakukan untuk mengamati hubungan ikatan dalam beton. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahwa berat jenis beton agregat plastik adalah antara 1120 kg/m<sup>3</sup> - 1920 kg/m<sup>3</sup> dan jenis agregat plastik terbaik adalah PVC.

Menurut Reksi *et al.*, (2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Perbandingan Kuat Tekan Bata Plastik Berjenis *Polypropylene* (PP), *Polyethylene Terephthalate* (PET), dan *High Density Polyethylene* (HDPE)”. Berdasarkan hasil penelitian bahwa nilai uji kuat tekan bata plastik jenis PP, PET, dan HDPE telah memenuhi standar kuat tekan berdasarkan SNI 15-2094-2000. Rata-rata nilai uji kuat tekan tertinggi bata plastik jenis PP yaitu 246 kg/cm<sup>2</sup>, bata plastik jenis PET 98,7 kg/cm<sup>2</sup> dan bata plastik jenis HDPE 166 kg/cm<sup>2</sup>.

Menurut Ambali *et al.*, (2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Tingkat Ketahanan Dinding Bata Berbahan Dasar Limbah Plastik Terhadap Kebakaran”. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa pada menit ke-60 muncul retakan pada sisi yang terkena api sehingga menyebabkan bata terbakar. Hal tersebut disebabkan karena bata terbuat dari plastik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dinding bata yang terbuat dari plastik memiliki ketahanan

stabilitas/integritas/insulasi dinyatakan dalam satuan menit tidak memenuhi tingkat ketahanan api.

Menurut Supriyadi *et al.*, (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Jenis *Thermosetting* Terhadap Mutu Bata Ringan (Hebel)”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh penambahan sampah plastik terhadap kualitas bata ringan yaitu kuat tekan menurun. Kuat tekan bata ringan dengan 10 variasi campuran sampah plastik dari 1,0%-10,0% terhadap berat semen portland mengalami penurunan kuat tekan rata-rata. Kuat tekan rata-rata paling rendah yaitu 9,88 kg/cm<sup>2</sup> dengan penambahan sampah plastik 10,0%.

## **2.2. Bata Ringan**

Bata ringan merupakan hasil inovasi dari bata merah tradisional. Bata merah tradisional dinilai tidak ekonomis, ukurannya kecil dan lama pengerjaannya (Suryanita, 2020).

Menurut Tjokrodinuljo (1996) dalam Arita *et al.*, (2017) bata ringan adalah bata berpori dengan nilai densitas antara 600 kg/m<sup>3</sup> - 1800 kg/m<sup>3</sup> dimana densitas yang dimiliki bata ringan tersebut lebih ringan jika dibandingkan dengan bata yang diproduksi secara umum.

Komposisi bata ringan dibuat dari campuran antara pasir, semen, air, dan *foam agent* yang diaduk dengan *mixer* hingga rata dan halus kemudian dicetak dalam cetakan bata ringan. Bata ringan sangat ideal untuk dinding bangunan bertingkat tinggi karena dapat mengurangi berat bangunan itu sendiri dan beban pada pondasinya (Suryanita, 2020).

Ada dua jenis bata ringan yaitu *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) dan *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC).

### **2.2.1. Cellular Lightweight Concrete**

Menurut Suryanita (2020) bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) adalah bata selular yang terbuat dari pasir, semen, *foaming agent*, dan air. Proses perawatannya dilakukan secara alami yaitu dengan cara penyiraman tanpa memerlukan oven autoklaf. Bata ringan CLC kemudian disimpan pada suhu ruangan untuk mencegah terjadi retakan akibat suhu yang tinggi dan mengganggu

proses hidrasi. Biaya pembuatan bata ringan CLC yang dibutuhkan lebih rendah dibandingkan dengan bata ringan jenis AAC dan kuat tekan dari bata ringan CLC juga dapat dibandingkan dengan kuat tekan bata ringan AAC.

### **2.2.2. Autoclaved Aerated Concrete**

Menurut Suryanita (2020) bata ringan tipe *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) adalah bata berpori yang gelembung udaranya terbentuk melalui reaksi kimia. Bahan bata ringan tipe AAC yaitu semen, pasir silika, air dan kapur. Kemudian bahan-bahan tersebut dicampur dan dimasukkan ke dalam oven autoklaf pada suhu 200°C. Hal tersebut menyebabkan terjadinya proses reaksi kimia antara pasir silika dan kapur sehingga berat bata yang dihasilkan lebih ringan karena adanya pori-pori udara. Bata ringan tipe AAC memiliki rasio kepadatan yang baik, densitas yang rendah, dan kuat tekan yang relatif lebih tinggi.

## **2.3. Material Bata Ringan**

Komposisi campuran bahan mempengaruhi terhadap kualitas atau massa bata ringan. Bahan yang biasa digunakan untuk bata ringan yaitu semen, agregat halus (pasir), air, dan *foam agent*. Oleh karena itu, kondisi dan sifat-sifat dari bahan yang digunakan pada pembuatan bata ringan harus dalam kondisi baik agar bata ringan yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik serta sesuai dengan persyaratan (Suryanita, 2020).

### **2.3.1. Semen**

Menurut standar SNI 15-2049-2004, semen *portland* adalah semen hidraulis berasal dari klinker halus yang mengandung kalsium silikat dan gypsum sebagai bahan tambahan (Suryanita, 2020).

Ada lima jenis semen portland, yaitu :

- a) Jenis I (*normal portland cement*) yaitu semen portland yang digunakan pada bangunan gedung umum dan tidak membutuhkan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

- b) Jenis II (*high early strength portland cement*) yaitu semen portland dengan kekuatan awal tinggi dimana penggunaan semen *portland* yang membutuhkan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c) Jenis III (*modified portland cement*) atau semen portland yang dimodifikasi yaitu selama penggunaannya diperlukan kekuatan tinggi pada tahap awal setelah terjadi ikatan.
- d) Jenis IV (*low heat portland cement*) yaitu penggunaan semen portland yang membutuhkan kalor hidrasi rendah.
- e) Jenis V (*sulfate resisting portland cement*) atau semen portland tahan sulfat yaitu selama penggunaannya membutuhkan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

### **2.3.2. Pasir**

Agregat halus atau yang biasa dikenal dengan pasir berperan sebagai bahan pengisi dalam campuran bata ringan, meskipun hanya sebagai pengisi tetapi pasir memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap sifat-sifat dan kinerja beton sehingga pemilihan pasir merupakan langkah yang sangat penting dalam proses pertumbuhan beton (Syahrul, 2020).

Menurut Suryanita (2020) dalam penggunaan agregat sebagai bahan bata ringan harus diperhatikan karena apabila ukuran agregat terlalu kasar maka akan lebih sulit ketika proses pengadukan bahan bata ringan sehingga mengakibatkan pencampuran bahan tersebut tidak merata dan akhirnya akan mengendap di dasar cetakan.

### **2.3.3. Air**

Menurut Suryanita (2020) air merupakan salah satu bahan utama bata ringan yang sangat penting karena diperlukan untuk bereaksi dengan semen sebagai pengikat agar proses pengerasan berlangsung. Air juga digunakan dalam proses perawatan bata ringan untuk meminimalisir timbulnya retakan. Sedangkan, menurut Tjokrodinuljo (1996) dalam Arita *et al.*, (2017) air hanya diperlukan 25% dari berat semen agar dapat bereaksi dengan semen.

Perbandingan air dan semen memiliki pengaruh yang besar terhadap kekuatan bata ringan karena apabila volume air berlebihan maka akan mengakibatkan penurunan kekuatan bata ringan, sedangkan apabila volume air terlalu sedikit maka akan menyulitkan dalam proses pengadukan bahan dengan menggunakan *mixer* (Mustafa *et al.*, 2020)

#### **2.3.4. Foaming Agent**

Menurut Arita *et al.*, (2017) *foaming agent* adalah larutan surfaktan yang terkonsentrasi. Bahan yang digunakan adalah *foaming agent* yang dilarutkan dengan air sehingga selama proses pencampuran bahan akan terbentuk gelembung-gelembung gas atau udara yang akan menyebabkan munculnya pori-pori pada bata ringan. *Foaming agent* digunakan untuk menghasilkan batu bata dengan nilai densitas yang lebih ringan daripada bata umumnya (Liu *et al.*, 2017).

Busa yang sangat cocok untuk bata ringan adalah busa yang diproduksi dengan menggunakan *foam generator* karena busa yang dihasilkan lebih stabil (Efendi *et al.*, 2019).

#### **2.3.5. Plastik**

Menurut Kirana (2018) plastik adalah material yang memiliki satu atau lebih polimer dengan berat molekul tinggi. Plastik terdiri dari beberapa jenis yaitu senyawa organik sintetik atau semi sintetik yang ditempa untuk membentuk benda yang padat. Sampah plastik masih menjadi permasalahan global yang belum terpecahkan, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahwa kemungkinan yang dapat dilakukan untuk mengurangi sampah plastik salah satunya dengan cara yang efisien dan ramah lingkungan sehingga dapat meminimalkan pencemaran lingkungan.

Plastik dibagi menjadi dua yaitu *thermosetting* dan *thermoplastic*. *Thermosetting* adalah bahan plastik yang meleleh ketika dipanaskan sampai suhu tertentu dan ketika sudah dibentuk menjadi benda padat maka tidak dapat dibentuk menjadi benda yang lain lagi. Sedangkan *thermoplastic* adalah bahan plastik yang pasti akan meleleh dan membentuk menjadi benda padat jika



dipanaskan pada suhu tertentu, *thermoplastic* dapat dipanaskan kembali sehingga menjadi bentuk lain (Surono, 2013).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Tapkire & Parihar (2014) dalam Kirana (2018), “Sampah plastik digunakan sebagai bahan bangunan oleh para ilmuwan. Selain membantu mengurangi limbah plastik tetapi juga dapat meningkatkan *drying shrinkage*, kekuatan tarik, ketahanan kimia, dan *creep* dalam basis yang pendek dan panjang”.

Ada tujuh jenis plastik yang dapat dikategorikan yaitu, *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High-Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low-Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Other* (O).

Tabel 2. 1 Jenis Plastik, Kode dan Penggunaannya

<b>Kode</b>	<b>Jenis Plastik</b>	<b>Penggunaan</b>
<b>1</b>	PET ( <i>Polyethylene Terephthalate</i> )	Botol minyak goreng, botol air mineral, botol saus sambal, botol obat, dan botol kosmetik.
<b>2</b>	HDPE ( <i>High Density Polyethylene</i> )	Botol susu cair, botol obat, botol pelumas, dan botol kosmetik.
<b>3</b>	PVC ( <i>Polyvinyl Chloride</i> )	Pipa air, botol shampo, pipa konstruksi, dan taplak meja plastik.
<b>4</b>	LDPE ( <i>Low Density Polyethylene</i> )	Tutup plastik, kantong plastik, pembungkus daging beku, dan plastik tipis lainnya.
<b>5</b>	PP ( <i>Polypropylene</i> atau <i>Polypropene</i> )	Gelas plastik, mainan anak, dan tutup botol plastik.
<b>6</b>	PS ( <i>Polystyrene</i> )	Sendok dan garpu plastik, kotak CD, gelas plastik, dan wadah makanan styrofoam.
<b>7</b>	<i>Other</i> (O), jenis plastik lain selain kode 1 sampai dengan kode 6.	Botol susu bayi, plastik kemasan, sikat gigi, galon air minum, <i>spare part</i> mobil, peralatan rumah tangga, komputer, peralatan elektronik, dan mainan lego.

Sumber : Kurniawan (2012) dalam Surono (2013)

Penelitian ini menggunakan sampah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) yaitu dari botol air mineral. Berdasarkan Kode Identifikasi Resin yang telah dilakukan oleh *The Society of Plastic Industry* (SPI) pada tahun 1988 di Amerika Serikat bahwa jenis plastik yang paling mudah untuk didaur ulang adalah plastik jenis PET dengan kode angka 1.

## 2.4. Pengujian

### 2.4.1. *Mechanical Interlocking* (Ikatan Mekanik)

Pada penelitian ini dilakukan pengujian tarik pada sampel bata ringan untuk mengetahui ikatan antara plastik dan semen. Selain itu, pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui *filler* plastik yang dapat mempengaruhi variabel respon sehingga menghasilkan respon densitas dan kuat tekan yang optimum.

### 2.4.2. Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan cara menghitung perbandingan antara massa benda uji dan volume benda uji untuk mengetahui massa jenisnya (Rachmat *et al.*, 2021). Berikut adalah rumus perhitungan densitas (Eban *et al.*, 2018) :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

$\rho$  = densitas (gr/cm<sup>3</sup>)

$m$  = massa benda uji (gr)

$v$  = volume benda uji (cm<sup>3</sup>)

### 2.4.3. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan atau kemampuan suatu bahan (benda) ketika diberi tekanan atau beban. Menurut Anders (1989) dalam Arita *et al.*, (2017) bahwa kuat tekan bata ringan berkisar antara 1 MPa - 15 MPa.

Rumus uji kekuatan tekan (Reksi *et al.*, 2021) :

$$\text{Kuat tekan } (fc) = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

$f_c$  = Kuat Tekan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$P$  = Beban Maksimum (kg)

$A$  = Luas Penampang ( $\text{cm}^2$ )

## 2.5. Rancangan *Response Surface* dan Analisis

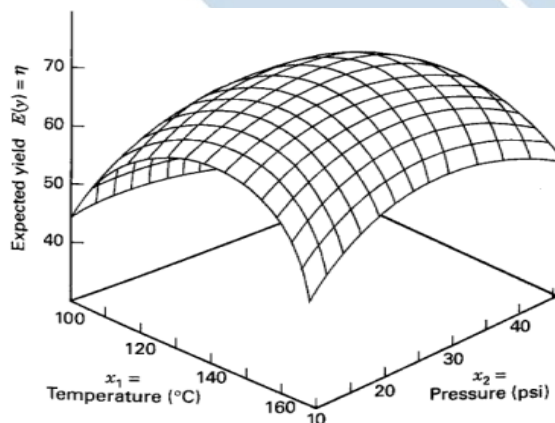
### 2.5.1. *Response Surface Methodology*

Menurut Montgomery (2020) *Response Surface Methodology* (Metodologi Permukaan Respon) atau dikenal dengan metode RSM untuk menganalisis bagaimana pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel respon dengan tujuan untuk mendapatkan respon yang optimal. Contohnya yaitu dengan mencari nilai optimal dari suhu ( $x_1$ ) dan tekanan ( $x_2$ ) untuk mendapatkan nilai optimal dari respon. Respon tersebut dituliskan dalam sebuah persamaan fungsi dari level atau tingkat suhu dan tekanan sebagai berikut (Montgomery, 2020) :

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \dots\dots\dots (2.3)$$

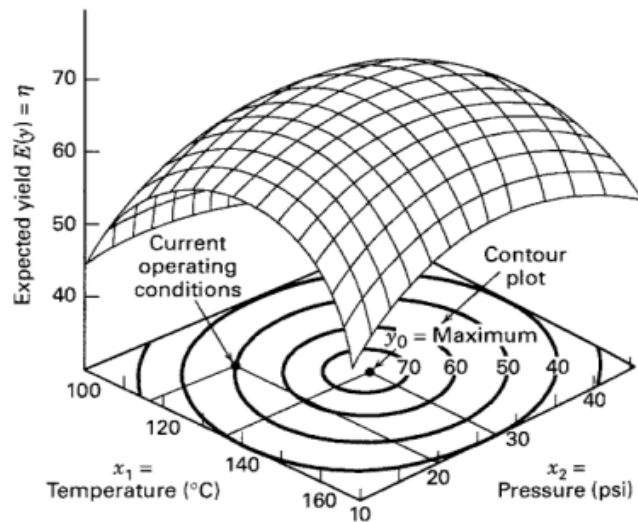
$\varepsilon$  adalah kesalahan dalam respon  $y$ . Untuk menyatakan respon optimal yaitu  $E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$ , maka  $\eta = f(x_1, x_2)$  disebut dengan permukaan respon yang mewakili sebuah permukaan.

Permukaan respon digambarkan dalam sebuah grafik yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Grafik Permukaan Respon (*Response Surface*)  
(Montgomery, 2020)

Bentuk permukaan respon biasanya menggunakan plot kontur yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Dalam plot kontur, garis respon yang konstan digambarkan pada bidang datar ( $x_1, x_2$ ), sedangkan untuk garis respon lainnya terletak di permukaan lengkung di atasnya.



Gambar 2. 2 Plot Kontur (*Contour Plot*)  
(Montgomery, 2020)

Awalnya bentuk hubungan antara respon ( $y$ ) dengan variabel bebas ( $x$ ) belum diketahui dan digunakan RSM untuk menemukan pendekatan yang sesuai sehingga dapat menggambarkan bentuk hubungan sebenarnya antara respon ( $y$ ) dan variabel bebas ( $x$ ). *First-order model* merupakan pendekatan yang digunakan jika bentuk hubungan antara respon ( $y$ ) dan variabel bebas ( $x$ ) adalah fungsi linier. Persamaan *first-order model* ditunjukkan dalam persamaan 2.4 berikut (Montgomery, 2020).

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon_i \dots\dots\dots(2.4)$$

Apabila bentuk hubungan antara respon ( $y$ ) dengan variabel bebas ( $x$ ) adalah kuadrat maka pendekatan yang digunakan disebut *second-order model*. Persamaan *second-order* ditunjukkan dalam persamaan 2.5 berikut (Montgomery, 2020).

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \dots\dots\dots(2.5)$$

### 2.5.2. Central Composite Design

Central composite design terdiri dari  $2^k$  faktorial atau faktorial fraksional,  $2k$  axial point dan  $n_c$  center point. Matriks rancangan untuk  $k = 3$  dengan 2 center point sebagai berikut (Park, 1996) :

$$D = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -\alpha & 0 & 0 \\ \alpha & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha \\ 0 & 0 & \alpha \end{bmatrix} \left. \begin{array}{l} \} \\ \} \\ \} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 2^3 \text{ factorial points} \\ 2 \text{ center points} \\ 2 \times 3 \text{ axial points} \end{array}$$

Rancangan percobaan CCD dengan  $k$  (jumlah variabel bebas), sehingga nilai rotabilitasnya ( $\alpha$ ) dalam bentuk pengkodean didapatkan menggunakan persamaan berikut (Montgomery, 2020) :

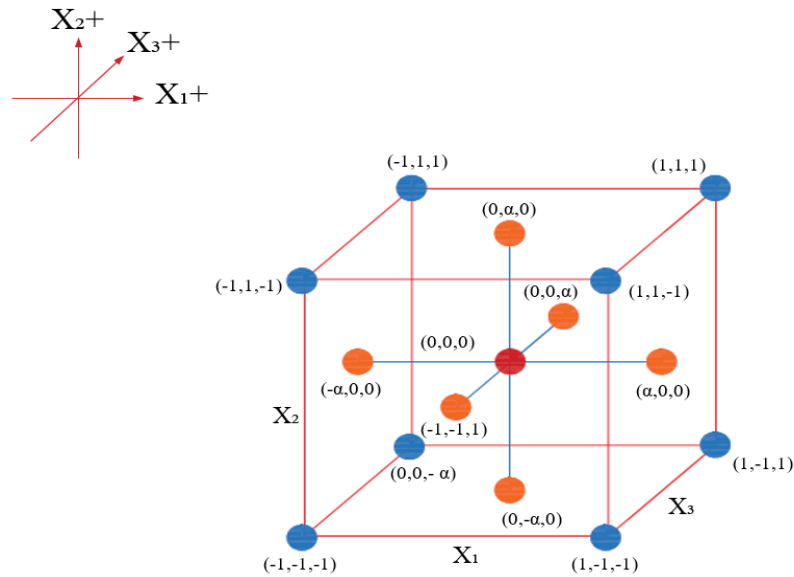
$$\alpha = 2^{k/4} \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk menemukan nilai aktual pada rotabilitas ( $\alpha$ ), maka menggunakan persamaan berikut (Montgomery, 2020) :

$$\alpha = \frac{Xi-Center Point}{\frac{1}{2}(Maksimum-Minimum)} \dots\dots\dots (2.7)$$

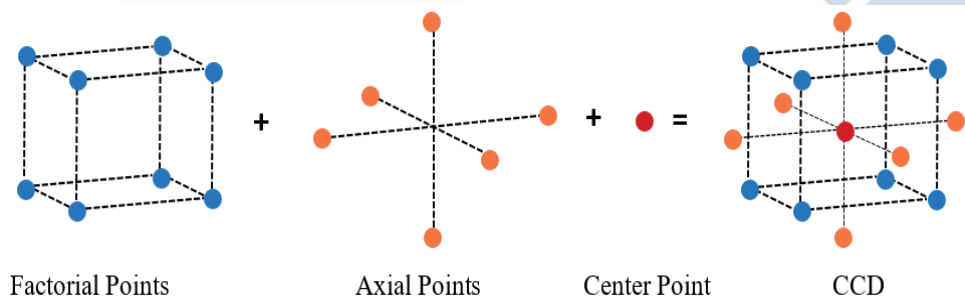
### 2.5.3. Equiradial Designs

Rancangan *equiradial* terdiri atas titik-titik yang berjarak sama pada lingkaran (untuk  $k = 2$ ) atau bola (untuk  $k = 3$ ) dan membentuk polygon atau polyhedron beraturan. Disebut “*equiradial*” karena berasal dari keadaan sebenarnya bahwa titik desain berjarak sama dari titik asal (Park, 1996).



Gambar 2. 3 *Central Composite Designs* untuk  $k = 3$   
(Montgomery, 2020)

Untuk  $k$  (faktor) maka  $n = 2^k + 2k + 1$



Gambar 2. 4 *Type of Points CCD*  
(Montgomery, 2020)

#### 2.5.4. Analisis Persamaan *Second-Order*

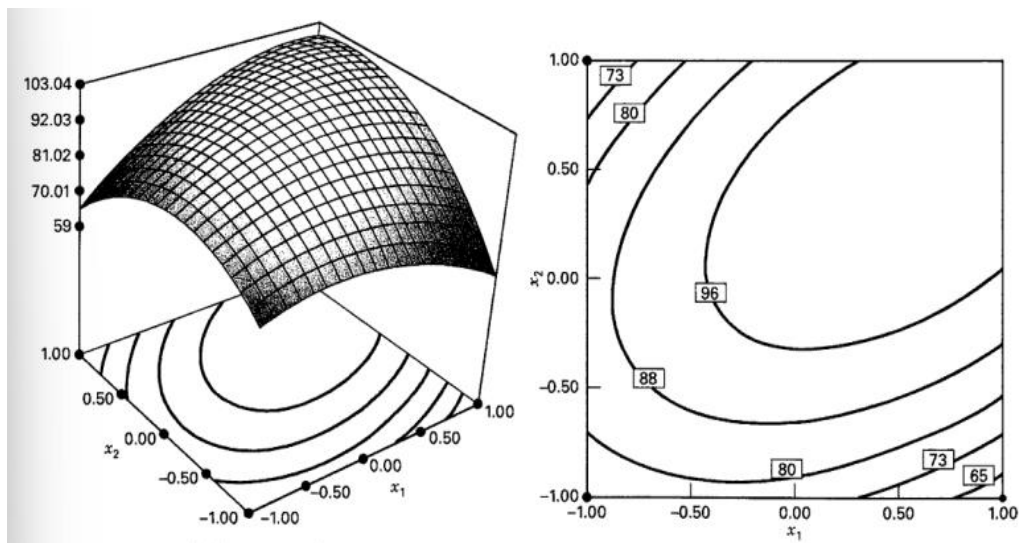
Prediksi respon ( $y$ ) pada variabel bebas dengan pendekatan regresi ditunjukkan dalam persamaan berikut (Montgomery, 2020) :

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T y \dots\dots\dots(2.8)$$

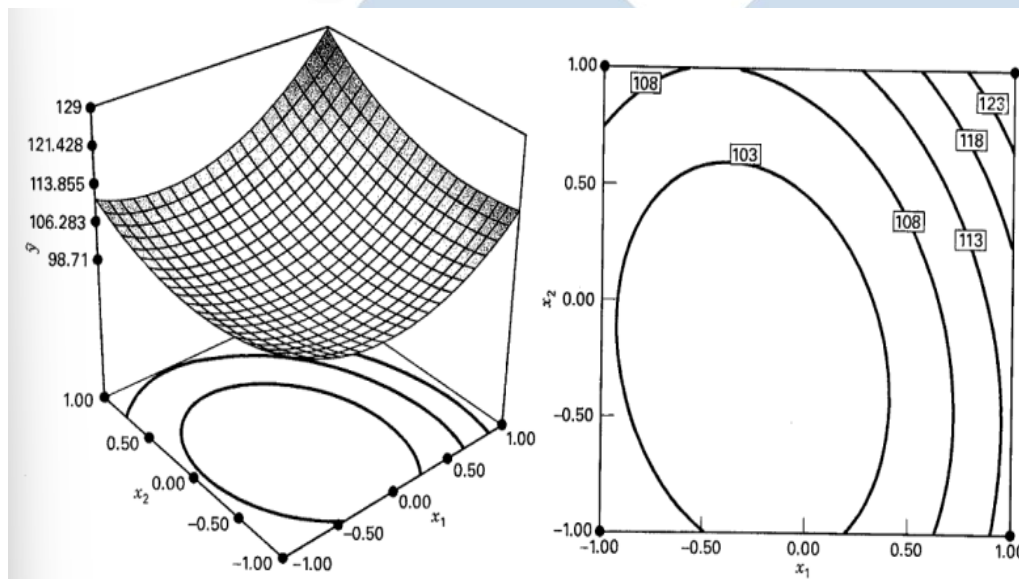
Setelah persamaan *second order* dengan pendekatan regresi didapatkan maka selanjutnya dapat diketahui keadaan optimal dan karakteristik sifat dari permukaan respon.

### 2.5.5. Lokasi Titik Stasioner (*Stationary Point*)

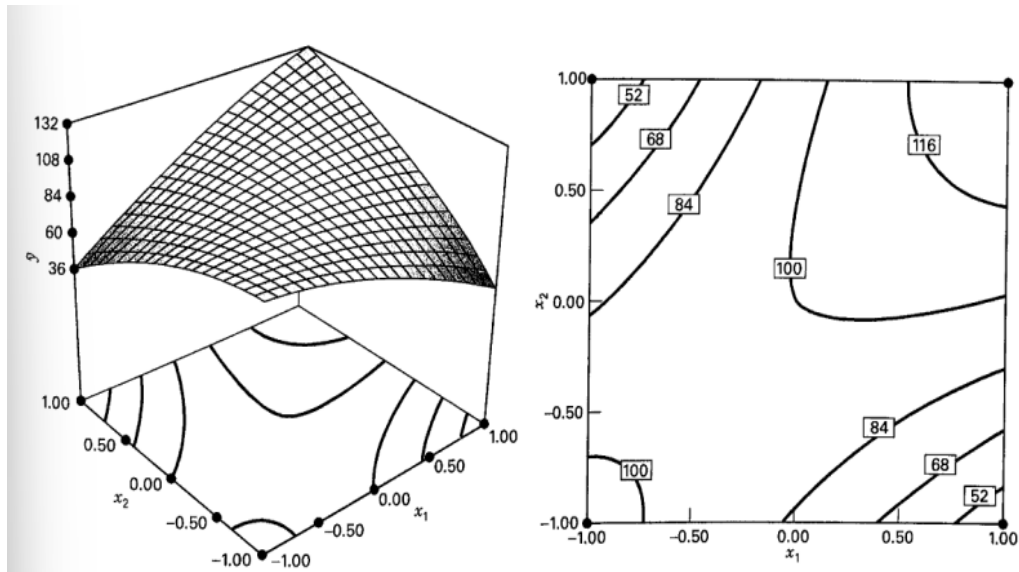
Menurut Montgomery (2020) bahwa titik stasioner (*stationary point*) untuk menentukan titik optimal dari variabel bebas ( $x$ ) sehingga titik-titik optimal tersebut dapat mengoptimalkan respon. Titik stasioner dapat mewakili titik respon maksimum (Gambar 2.5), titik respon minimum (Gambar 2.6), atau *saddle point* (Gambar 2.7).



Gambar 2. 5 Respon permukaan dan plot kontur pada titik maksimum (Montgomery, 2020)



Gambar 2. 6 Respon permukaan dan plot kontur pada titik minimum (Montgomery, 2020)



Gambar 2. 7 Respon permukaan dan plot kontur pada *saddle point*  
(Montgomery, 2020)

Persamaan untuk mencari titik stasioner dapat dinotasikan dalam matriks, sebagai berikut (Montgomery, 2020) :

$$X_0 = -\frac{1}{2}B^{-1}b \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2 & \dots & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22} & \dots & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ & & \ddots & \\ \text{sym.} & & & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix}$$

Persamaan untuk menemukan nilai optimum dari variabel bebas berdasarkan titik stasioner ( $X_0$ ) yang didapatkan sebagai berikut (Montgomery, 2020) :

$$X_i = \frac{\text{Variabel bebas}-\text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{Maksimum}-\text{Minimum})} \dots\dots\dots(2.10)$$

Persamaan untuk mendapatkan prediksi nilai respon dari titik stasioner yaitu sebagai berikut (Montgomery, 2020) :

$$\hat{y}_0 = \beta_0 + \frac{1}{2}x_0'b \dots\dots\dots(2.11)$$



### 2.5.6. Analisis Kanonikal

Setelah titik stasioner didapatkan sehingga untuk menentukan bentuk dari titik stasioner apakah termasuk titik minimum, maksimum atau *saddle* dengan menggunakan analisis kanonikal (Montgomery, 2020).

Persamaan 2.12 merupakan persamaan untuk menentukan model bentuk kanonikal (Montgomery, 2020).

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 \omega_1^2 + \lambda_2 \omega_2^2 + \dots + \lambda_k \omega_k^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

Menurut Montgomery (2020) bahwa untuk menentukan bentuk permukaan respon dengan berdasarkan nilai  $\lambda_i$ . Jika semua nilai  $\lambda_i$  tandanya negatif maka  $X_0$  yaitu titik maksimum, jika semua  $\lambda_i$  tandanya positif maka  $X_0$  yaitu titik minimum, dan jika semua  $\lambda_i$  tandanya berbeda maka  $X_0$  yaitu titik pelana (*saddle point*).

### 2.5.7. Uji Normalitas

Uji normalitas adalah salah satu langkah untuk mengetahui apakah sebaran data hasil pengujian berada pada distribusi normal atau pada sebaran normal. Dikatakan data berdistribusi normal jika bentuk histogramnya seperti lonceng. Keputusan menolak  $H_0$  adalah jika  $L_{hitung} > L_{tabel}$  sehingga dapat dikatakan bahwa data berdistribusi normal dan keputusan menerima  $H_0$  adalah jika  $L_{hitung} < L_{tabel}$  sehingga dikatakan bahwa data berdistribusi tidak normal (Nuryadi *et al.*, 2017).

### 2.5.8. Analisis Varian (Anova)

Jumlah kuadrat y dalam regresi berganda terdiri dari SSR, SSE, dan SST. Persamaan untuk menghitung SSR, SST, dan SSE adalah sebagai berikut (Park, 1996) :

$$SSR = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \hat{y}'\hat{y} - n\bar{y}^2 = \hat{\beta}'X'\hat{y} - n\bar{y}^2 \dots\dots\dots (2.13)$$

$$SST = \sum(y_i - \bar{y})^2 = \sum y_i^2 - n\bar{y}^2 \dots\dots\dots (2.14)$$

$$SSE = SST - SSR \dots\dots\dots (2.15)$$

Tabel Anova untuk regresi berganda ditunjukkan pada tabel 2.2. diasumsikan bahwa jika  $F_{value} > F_{tabel}$  maka hipotesisnya yaitu persamaan regresi dalam menjelaskan hubungan antara variabel bebas (x) dan respon (y) terdapat keberartian (Park, 1996).

Tabel 2. 2 Tabel Anova Regresi Berganda (Park, 1996)

<i>Source</i>	<i>DoF</i>	<i>Sum of Square</i>	<i>Mean of Square</i>	<i>F-Value</i>	<i>F-Tabel</i>
Regresi	$k$	$SSR$	$MSR$	$MSR/MSE$	$F(k, n-k-1; \alpha)$
Residual	$n - k - 1$	$SSE$	$MSE$		
Total	$n - 1$	$SST$			

Berdasarkan tabel 2.2. bahwa MSR adalah mean kuadrat akibat regresi dan didapatkan dengan cara membagi SSR dengan derajat kebebasan regresi. Sedangkan MSE adalah mean kuadrat akibat kesalahan residual dan didapatkan dengan membagi SSE dengan derajat kebebasan residual (Park, 1996).

**2.5.9. Uji Ketidaksesuaian Persamaan (*Lack of Fit*)**

Menurut Montgomery (2020) dalam statistik *lack of fit* digunakan untuk mengetahui ketidaksesuaian persamaan regresi. Pengujian *lack of fit* dapat dilakukan dengan menggunakan analisis varian. Adapun perhitungan jumlah kuadrat  $SS_E$  yaitu dengan menggunakan  $SS_E = SS_{PE} + SS_{LOF}$  dimana  $SS_{PE}$  adalah jumlah kuadrat karena kesalahan murni (*pure error*) dan  $SS_{LOF}$  adalah jumlah kuadrat dikarenakan kurang cocok. Sehingga persamaan untuk  $SS_{PE}$  dan  $SS_{LOF}$  adalah sebagai berikut (Montgomery, 2020) :

$$SS_{PE} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \dots\dots\dots (2.16)$$

$$SS_{LOF} = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \dots\dots\dots (2.17)$$

**2.5.10. Uji Koefisien Determinasi ( $R^2$ )**

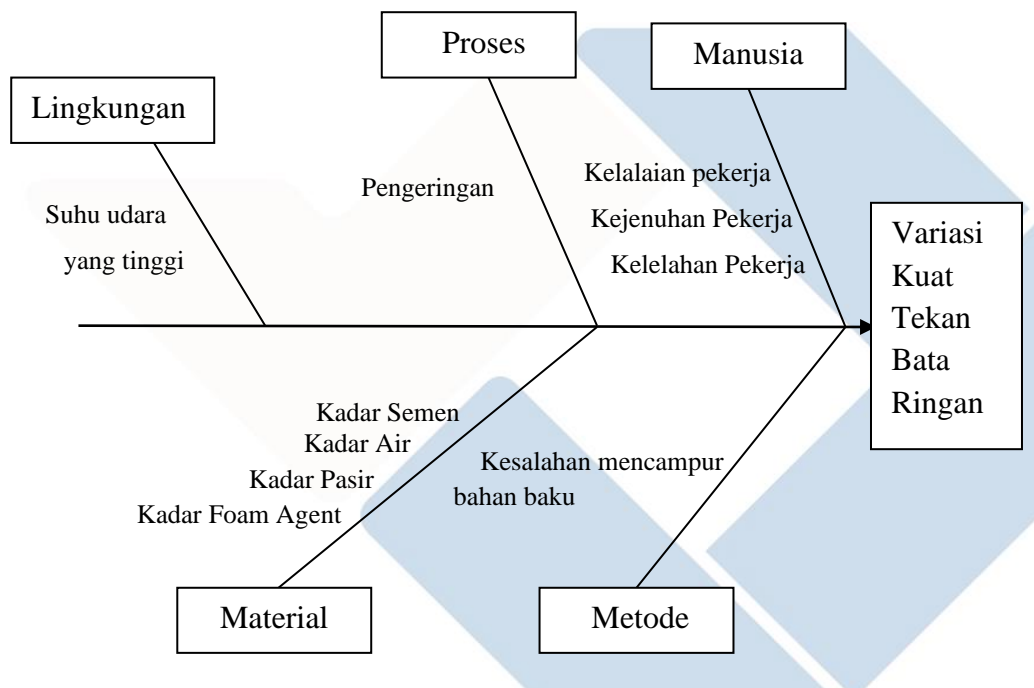
Koefisien determinasi digunakan untuk mengukur baik atau tidaknya persamaan regresi. Persamaan regresi dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya (fakta) dengan mengetahui besarnya nilai koefisien determinasi (*R square*). Nilai koefisien determinasi yang paling baik yaitu nilai yang paling mendekati 1 dimana nilai  $0 \leq R^2 \leq 1$  (Montgomery, 2020).

Perhitungan koefisien determinasi ditunjukkan dalam persamaan berikut (Montgomery, 2020) :

$$R^2 = \frac{SS_{model}}{SS_{total}} \dots\dots\dots (2.18)$$

### 2.6. Diagram Sebab-Akibat

Menurut Halimah dan Ekawati (2020) dalam penelitiannya bahwa diagram sebab-akibat digunakan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan bata ringan serta untuk peningkatan kualitas bata ringan. Adapun faktor yang mempengaruhi kuat tekan bata ringan adalah material, proses, manusia, metode, dan lingkungan. Faktor-faktor tersebut digambarkan pada diagram sebab-akibat berikut.

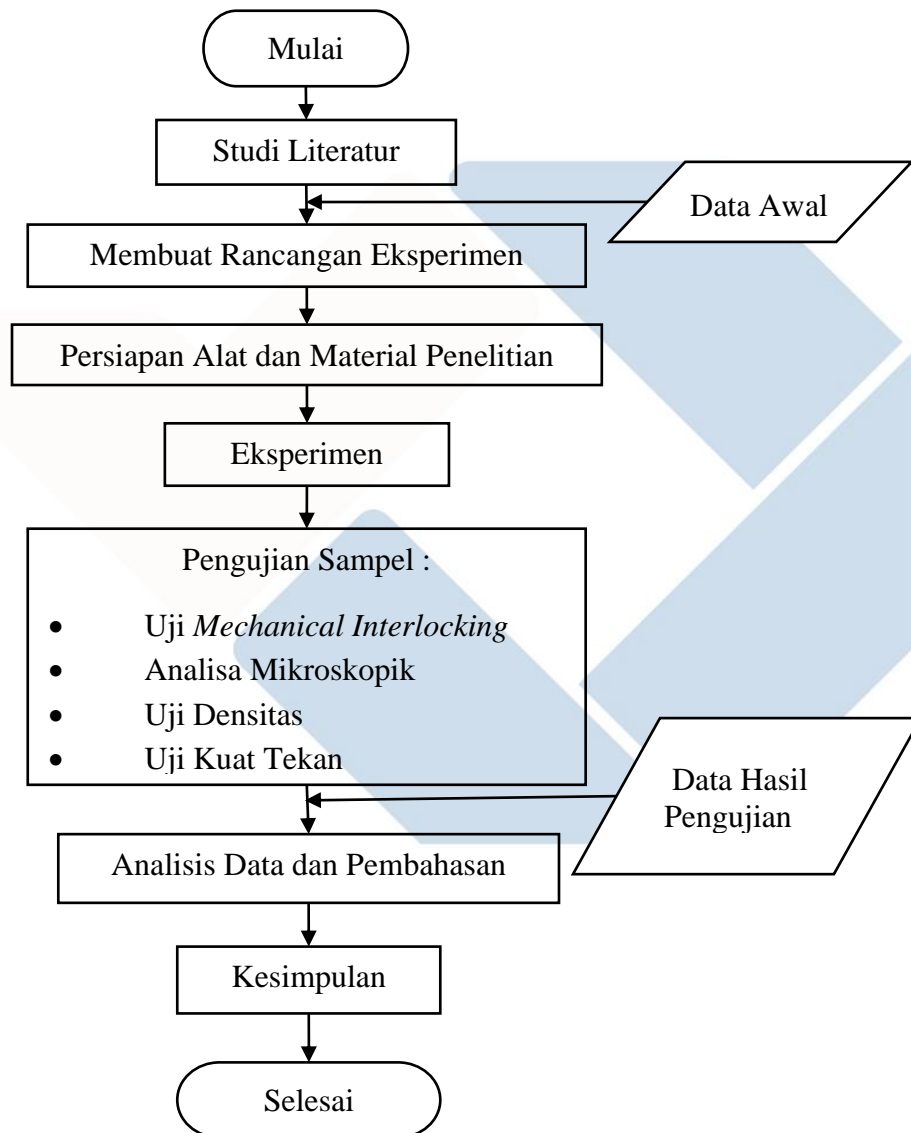


Gambar 2. 8 Diagram Sebab-Akibat  
(Halimah dan Ekawati, 2020)

### BAB III METODE PELAKSANAAN

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian dapat dijelaskan melalui diagram alir penelitian di bawah ini :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

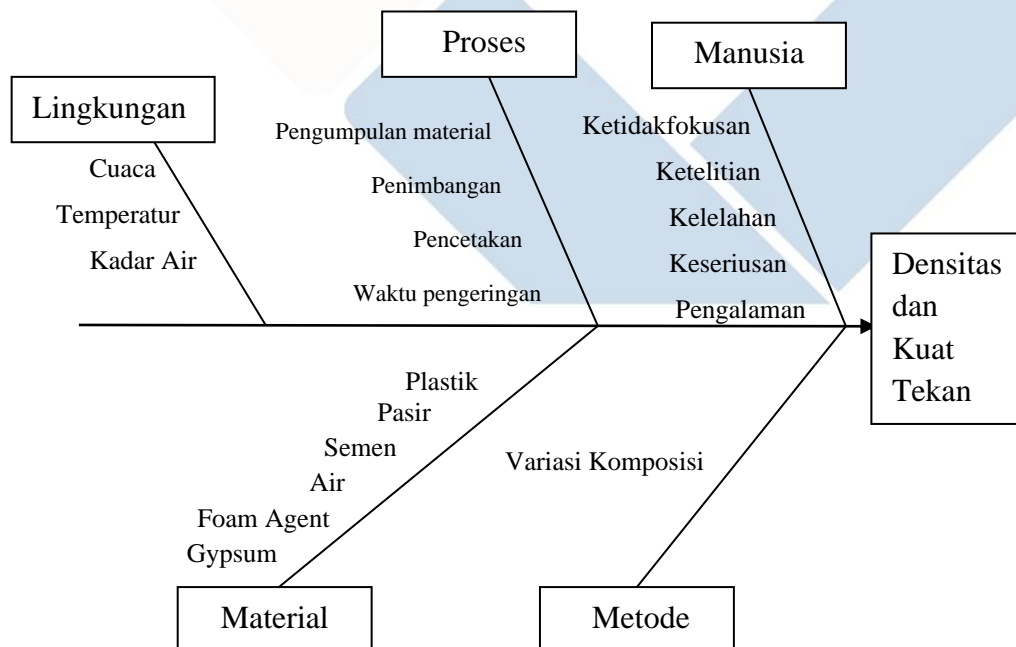
### 3.2. Studi Literatur

Studi literatur sebagai teori pendukung mengenai informasi yang berkaitan dengan penelitian ini. Studi literatur yang digunakan yaitu bersumber dari jurnal-jurnal, internet, dan *e-book*.

### 3.3. Rancangan Eksperimen

#### 3.3.1. Identifikasi Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa variabel yang diperkirakan dapat mempengaruhi respon densitas dan kuat tekan yaitu diantaranya faktor material meliputi plastik, pasir, semen, air, *foam agent*, dan *gypsum*. Kemudian dilihat dari faktor lingkungan yaitu cuaca, temperatur, dan kadar air. Faktor manusia itu sendiri bisa dikarenakan ketidakkfokusan, ketelitian, kelelahan, keseriusan dan pengalaman. Untuk faktor proses seperti pengumpulan material, penimbangan, pencetakan, serta waktu pengeringan. Terakhir untuk faktor metode dilihat dari variasi komposisi material. Faktor-faktor tersebut digambarkan dalam diagram sebab-akibat (diagram *fishbone*) berikut.



Gambar 3. 2 Diagram *Fishbone*

### 3.3.2. Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini dibagi menjadi tiga, yaitu :

- a) Variabel terikat atau respon yaitu densitas dan kuat tekan.
- b) Variabel bebas yaitu jumlah plastik, fraksi pasir : semen, dan volume air.
- c) Variabel tetap (kontrol) yaitu volume *foam agent*.

### 3.3.3. Menentukan Faktor dan Level Eksperimen

Faktor dan level pada penelitian ini ditunjukkan dalam tabel 3.1 berikut. Perhitungan level *center point* eksperimen dilampirkan pada lampiran 2.

Tabel 3. 1 Faktor dan Nilai Level Eksperimen

Faktor	Level		
	-1	0	1
Jumlah Plastik (gram)	2	3	4
Fraksi Pasir : Semen (gram)	4 : 3	3,3 : 2	2 : 1
Volume Air (mL)	60	80	100

### 3.3.4. Menentukan Kode Variabel Bebas

Rancangan eksperimen yang digunakan pada penelitian yaitu *central composite design* (CCD) dengan tiga faktor. Tabel rancangan eksperimen dikodekan dalam tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Kode Variabel Bebas

<i>Type of Points</i>	$X_1$	$X_2$	$X_3$
<i>Cube/Factorial Point</i>	-1	-1	-1
	-1	-1	1
	-1	1	-1
	-1	1	1
	1	-1	-1
	1	-1	1
	1	1	-1
<i>Axial Point</i>	$-\alpha$	0	0
	$\alpha$	0	0
	0	$-\alpha$	0
	0	$\alpha$	0
	0	0	$-\alpha$
<i>Center Point</i>	0	0	$\alpha$
	0	0	0
	0	0	0

### 3.3.5. Menentukan Nilai Variabel Bebas

Perhitungan secara lengkap untuk nilai aktual  $\alpha$  dan  $-\alpha$  pada  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  dilampirkan pada lampiran 3, sehingga nilai variabel bebas untuk rancangan eksperimen ditunjukkan dalam tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Nilai Variabel Bebas

Nomor Sampel	Jumlah Plastik (gram)	Fraksi Pasir : Semen (gram)	Volume Air (mL)
1	2	4 : 3	60
2	2	4 : 3	100
3	2	2 : 1	60
4	2	2 : 1	100
5	4	4 : 3	60
6	4	4 : 3	100
7	4	2 : 1	60
8	4	2 : 1	100
9	1,318	3,3 : 2	80
10	4,682	3,3 : 2	80
11	3	4,2 : 2	80
12	3	4,4 : 2	80
13	3	3,3 : 2	46,36
14	3	3,3 : 2	113,64
15	3	3,3 : 2	80
16	3	3,3 : 2	80
17	3	3,3 : 2	80

### 3.4. Persiapan Alat dan Material Percobaan

#### 3.4.1. Alat Percobaan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a) *Foam Generator*

*Foam generator* yaitu alat sebagai pembuatan *foam*. Gambar 3.3 menunjukkan gambar *foam generator* yang digunakan.



Gambar 3. 3 *Foam Generator*

b) *Mixer*

*Mixer* sebagai alat untuk pencampuran bahan-bahan penelitian. Gambar 3.4 menunjukkan gambar *mixer* yang digunakan.



Gambar 3. 4 *Mixer*

c) Timbangan Digital

Timbangan digital untuk mengukur berat atau massa bahan penelitian yaitu plastik, pasir, dan semen. Gambar 3.5 menunjukkan gambar timbangan digital yang digunakan.



Gambar 3. 5 Timbangan digital



d) Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume air. Gambar 3.6 menunjukkan gelas ukur yang digunakan.



Gambar 3. 6 Gelas ukur

e) Cetakan Sampel

Cetakan sampel ukuran 10×5×5 cm digunakan sebagai media mencetak sampel bata ringan. Gambar 3.7 menunjukkan gambar cetakan sampel yang digunakan.



Gambar 3. 7 Cetakan sampel

f) Ember

Ember digunakan sebagai wadah pengadukan campuran material bata ringan. Gambar 3.8 menunjukkan gambar ember yang digunakan.



Gambar 3. 8 Ember

g) Ragum

Ragum digunakan sebagai pencekam atau penjepit sampel bata ringan untuk dilakukan uji *mechanical interlocking*. Gambar 3.9 menunjukkan gambar ragum yang digunakan.



Gambar 3. 9 Ragum

h) Tang

Tang digunakan sebagai alat untuk menarik plastik pada sampel bata ringan.

Gambar 3.10 menunjukkan gambar tang yang digunakan.



Gambar 3. 10 Tang

i) Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan sebagai alat uji kekuatan tekan dari bata ringan. Gambar 3.11 menunjukkan gambar mesin uji tekan yang digunakan.



Gambar 3. 11 Mesin Uji Tekan *Zwick Roell*

j) Mikroskop Digital

Mikroskop digital digunakan untuk uji struktur makro bata ringan. Gambar 3.12 menunjukkan gambar mikroskop digital yang digunakan. Spesifikasi mikroskop digital dilampirkan pada lampiran 10.



Gambar 3. 12 Mikroskop Digital

### 3.4.2. Material Percobaan

Material yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut :

a) Plastik

Plastik yang digunakan dari botol air mineral jenis PET. Sampah plastik dipotong dan permukaannya dibentuk atau dilubangi. Gambar 3.13 menunjukkan gambar plastik yang digunakan.



Gambar 3. 13 Botol plastik yang dilubangi

b) Semen

Semen yang digunakan adalah semen *Conch* tipe *Portland Composite Cement* (PCC). Gambar 3.14 menunjukkan gambar semen yang digunakan.



Gambar 3. 14 Semen

c) Pasir

Pasir yang digunakan berasal dari pasir di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Gambar 3.15 menunjukkan gambar pasir yang digunakan.



Gambar 3. 15 Pasir

d) *Foaming Agent*

*Foaming agent* yang digunakan yaitu jenis AKS. Gambar 3.16 menunjukkan gambar *foaming agent* yang digunakan.



Gambar 3.16 *Foaming agent*

e) Air

Air yang digunakan berasal dari air di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

f) Aquades (*Aqua Destilata*)

Aquades digunakan sebagai media perendaman bata ringan untuk mengetahui massa bata ringan di dalam air. Gambar 3.17 menunjukkan gambar air yang digunakan.



Gambar 3.17 Aquades

### 3.5. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dan pengujian di Laboratorium Material Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

### 3.6. Eksperimen

Adapun tahapan-tahapan pembuatan sampel bata ringan, yaitu :

- 1) Proses pembuatan cetakan sampel bata ringan ukuran 10×5×5 cm.
- 2) Proses penimbangan material yang digunakan

Pada tahap ini sudah ditentukan variasi dari jumlah plastik, fraksi pasir : semen, volume air, dan volume *foam agent* yang digunakan.

- 3) Proses pembuatan *foam*

Pada tahap ini *foam* dihasilkan dengan menggunakan *foam generator*.

- 4) Proses pengadukan campuran material (pasir, semen, air, *foam*, dan plastik)

Pada tahap ini pasir dan semen terlebih dahulu diaduk di dalam ember menggunakan *mixer* agar tercampur secara merata. Kemudian air dituangkan pada ember yang berisi pasir dan semen. Setelah ketiga material diaduk dan tercampur hingga merata, selanjutnya *foam* dimasukkan ke dalam campuran material tersebut. Dan semua campuran material diaduk. Setelah itu, plastik dimasukkan ke dalam campuran material tadi dan diaduk sampai seluruh campuran material merata.

- 5) Proses pencetakan sampel bata ringan

Pada tahap ini seluruh campuran material yang sudah merata dituangkan ke dalam cetakan yang telah disediakan. Kemudian permukaan campuran material pada cetakan diratakan.

- 6) Proses pengeringan

Pada tahap ini cetakan yang berisi campuran material kemudian dijemur di bawah sinar matahari. Cetakan bisa dibuka jika sudah kering.

### 3.7. Pengujian Sampel

Setelah proses pencetakan selesai, selanjutnya beberapa proses pengujian yang dilakukan terhadap sampel bata ringan adalah sebagai berikut :

### **3.7.1. Uji Mechanical Interlocking**

Proses uji *mechanical interlocking* yaitu sampel dicekam di ragum kemudian ujung plastik pada sampel ditarik menggunakan tang.

### **3.7.2. Analisis Mikroskopik**

Uji mikroskopis dilakukan untuk melihat bagaimana struktur ikatan mekanik antara plastik (*filler*) dan semen (matriks). Uji ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop digital.

### **3.7.3. Uji Densitas**

Proses pengujian pada sampel bata ringan sebagai berikut :

1. Massa bata ringan ditimbang dalam kondisi kering.
2. Bata ringan direndam dengan *aquades* selama 10 menit kemudian massa bata ringan di dalam air dicatat.
3. Nilai yang didapatkan kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.1).

### **3.7.4. Uji Kuat Tekan**

Tahapan pengujian kuat tekan bata ringan yaitu :

1. Letakkan tempat sebagai wadah sampel bata ringan untuk diuji tekan.
2. Sampel bata ringan diletakkan di atas wadah yang telah disediakan.
3. Setting mesin uji tekan dengan standar ISO 604 dan lakukan uji tekan terhadap bata ringan.
4. Ketika bata ringan mendapatkan tekanan maksimum maka bata ringan akan retak atau hancur.
5. Data hasil pengujian kuat tekan yaitu dalam satuan MPa sehingga dikonversi ke satuan Kg/Cm<sup>2</sup>.

### **3.8. Pengumpulan Data**

Setelah dilakukan pengujian terhadap sampel bata ringan, kemudian didapatkan data hasil pengujian densitas dan kuat tekan. Teknik pengumpulan



data dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Data hasil pengujian densitas dan kuat tekan kemudian diolah dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM).

### 3.9. Analisis Data

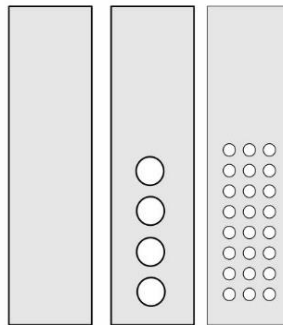
Setelah dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, maka data yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan analisis varian. Langkah-langkah dalam menganalisis data sebagai berikut :

- a) Melakukan uji normalitas data
- b) Membuat analisis varian (*Anova*)
- c) Membuat analisis persamaan *second order*
- d) Uji ketidakesuaian persamaan regresi (*Lack of Fit*)
- e) Analisis koefisien determinasi ( $R^2$ )
- f) Menentukan *stationary point* ( $X_0$ )
- g) Menentukan nilai optimal
- h) Membuat analisis kanonikal
- i) Menentukan grafik *surface respon* dan *contour plot*

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1. Peran Bentuk *Filler*

Bentuk *filler* yang digunakan ditunjukkan seperti berikut ini.



Gambar 4. 1 Bentuk *Filler*

*Filler* polos tanpa lubang digunakan sebagai pembanding bagi *filler* yang memiliki lubang. Fungsi lubang adalah untuk melewatkan matrik ke bagian sisi plastik yang berseberangan. Tujuannya adalah untuk mengikat plastik sehingga memiliki kemampuan untuk menahan gaya dari luar.

*Filler* (plastik) yang dilubangi dan ditanamkan didalam matrik komposit ditampilkan pada gambar di bawah ini. Lubang ini diharapkan menjadi penahan plastik dari gaya eksternal yang diberikan komposit.



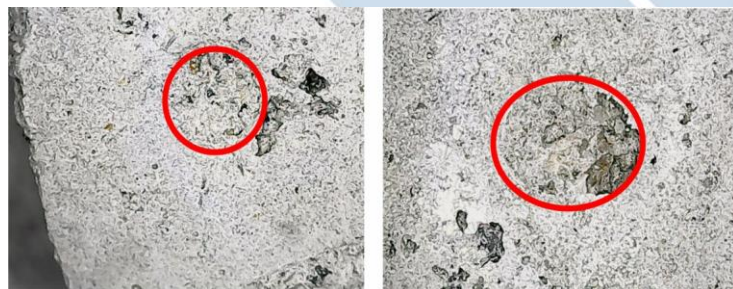
Gambar 4. 2 Bentuk *Filler* Berlubang

Bentuk *filler* komposit yang telah dibenamkan kedalam komposit semen ditampilkan pada gambar berikut ini. Ujung plastik tersebut selanjutnya ditarik hingga putus atau terlepas dari komposit. Jika plastik *filler* terlepas dari komposit maka hal tersebut menunjukkan bahwa ikatan mekanik antara matrik komposit dengan *filler* sangat lemah. Demikian pula sebaliknya, bila *filler* plastik tersebut putus saat ditarik, maka *filler* terikat dengan baik dalam matrik dan menunjukkan bahwa ikatan mekanik terjadi pada komposit tersebut.



Gambar 4. 3 *Filler* Pada Komposit

Pengujian terhadap *filler* plastik yang dibenamkan dalam matrik komposit dilakukan dengan cara menarik ujung plastik. Hasil pengujian dianalisa menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 1000× ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 4 Jejak matrik pengikat *filler*

Pada Gambar 4.4 ditunjukkan lingkaran merah merupakan struktur makro bekas sambungan matrik yang melewati lubang *filler* plastik. Matrik yang melewati lubang pada *filler* tersebut mampu menahan *filler* berikatan secara mekanik.

## 4.2. Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen *Central Composite Design* dengan 3 faktor. Variasi komposisi terhadap variabel bebas dilakukan berdasarkan rancangan eksperimen sehingga sampel yang dihasilkan sebanyak 17 sampel. Setelah proses pencetakan sampel kemudian dilakukan proses pengujian yaitu uji densitas dan uji kuat tekan. Gambar 4.5 menunjukkan hasil pencetakan sampel bata ringan.



Gambar 4. 5 Sampel Bata Ringan

## 4.3. Analisis Data Respon Densitas

### 4.3.1. Perhitungan Nilai Densitas

Sampel bata ringan ditimbang untuk mengetahui massanya di udara dan di air. Pengujian densitas bata ringan secara lengkap dilampirkan pada lampiran 4. Gambar 4.6 menunjukkan sampel bata ringan ditimbang di udara dan di air.



Gambar 4. 6 Sampel bata ringan ditimbang di udara dan di air

Hasil pengukuran massa sampel bata ringan keadaan di udara dan di air ditunjukkan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Massa Bata Ringan di Udara dan di Air

<b>Nomor Sampel</b>	<b>Massa di udara (Gram)</b>	<b>Massa di air (Gram)</b>
1	515,65	514,94
2	310,62	309,88
3	152,39	151,5
4	260,62	260,1
5	568,02	567,57
6	493,38	492,82
7	156,15	155,94
8	208,89	208,04
9	488,48	487,98
10	465,04	464,54
11	526,75	524,4
12	453,67	452,72
13	480,29	479,75
14	192,21	191,26
15	375,68	374,75
16	375,53	374,72
17	203,49	68,89

Perhitungan densitas secara lengkap menggunakan persamaan (2.1) dilampirkan pada lampiran 5. Hasil perhitungan densitas ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut.

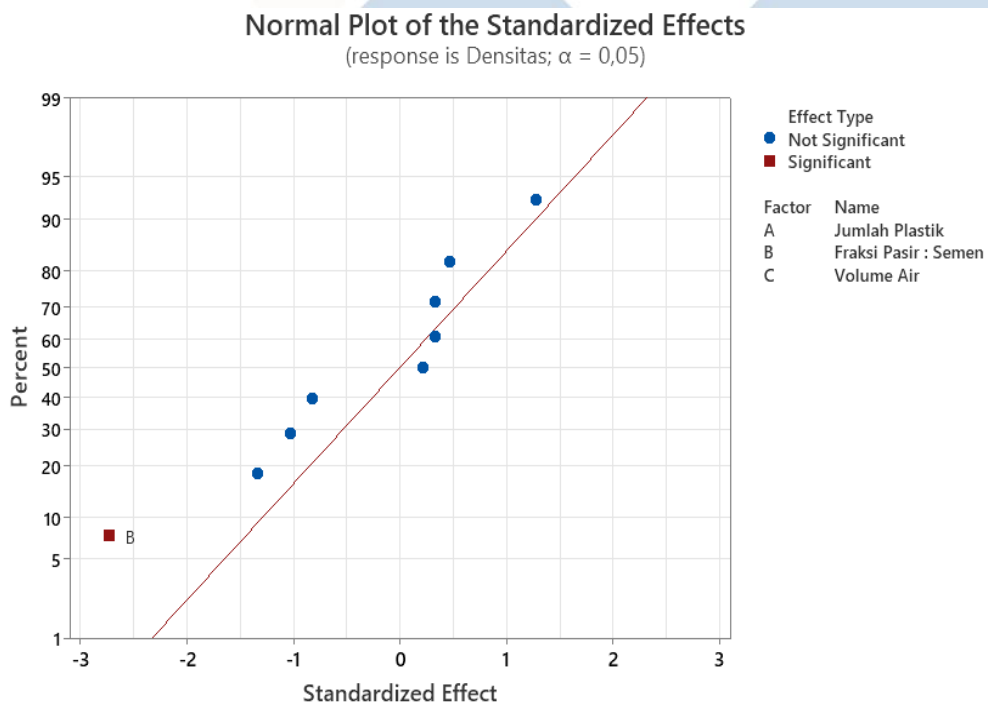
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Densitas

<b>Nomor Sampel</b>	<b>Variasi</b>			<b>Densitas Kg/m<sup>3</sup></b>
	<b>Jumlah Plastik (Gram)</b>	<b>Fraksi Pasir : Semen (Gram)</b>	<b>Volume Air (mL)</b>	
1	2	4 : 3	60	2062,6
2	2	4 : 3	100	1242,48
3	2	2 : 1	60	609,56
4	2	2 : 1	100	1042,48
5	4	4 : 3	60	2272,08
6	4	4 : 3	100	1973,52
7	4	2 : 1	60	624,6
8	4	2 : 1	100	835,56

Nomor Sampel	Variasi			Densitas
	Jumlah Plastik (Gram)	Fraksi Pasir : Semen (Gram)	Volume Air (mL)	Kg/m <sup>3</sup>
9	1,318	3,3 : 2	80	1953,92
10	4,682	3,3 : 2	80	1860,16
11	3	4,2 : 2	80	2107
12	3	4,4 : 2	80	1814,68
13	3	3,3 : 2	46,36	1921,16
14	3	3,3 : 2	113,64	768,84
15	3	3,3 : 2	80	1502,72
16	3	3,3 : 2	80	1502,12
17	3	3,3 : 2	80	1512

### 4.3.2. Uji Normalitas

Nilai respon densitas selanjutnya diuji kenormalannya. Uji normalitas dilakukan dengan bantuan perangkat lunak minitab versi 21.3 (minitab *license*). Hasil uji normalitas ditunjukkan pada gambar 4.7 dibawah ini. Berdasar pada gambar tersebut, data menunjukkan tingkat kenormalan data yang signifikan. Dengan demikian data respon dapat disimpulkan mengikuti pola distribusi normal.



Gambar 4. 7 Grafik *Normal Plot of the Standardized Effects*

### 4.3.3. Sampel Analisis Varian (Anova)

Analisis varian (*Anova*) untuk persamaan *second order* dalam *coded* dilakukan menggunakan perangkat lunak *minitab* versi 21.3 (*minitab license*). Hasil analisis ditunjukkan pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4. 3 Analisis Varian

<i>Source</i>	<i>DoF</i>	<i>Sum of Square</i>	<i>Mean of Square</i>	<i>F-Value</i>	<i>F-Tabel</i>
Model	9	3259223	362136	1,52	
Jumlah Plastik	1	25567	25567	0,11	5,59
Fraksi Pasir : Semen	1	1779621	1779621	7,47	5,59
Volume Air	1	426305	426305	1,79	5,59
Jumlah Plastik*Jumlah Plastik	1	27047	27047	0,11	5,59
Fraksi Pasir : Semen*Fraksi Pasir Semen	1	52130	52130	0,22	5,59
Volume Air*Volume Air	1	252680	252680	1,06	5,59
Jumlah Plastik*Fraksi Pasir : Semen	1	160291	160291	0,67	5,59
Jumlah Plastik*Volume Air	1	11220	11220	0,05	5,59
Fraksi Pasir : Semen*Volume Air	1	388327	388327	1,63	5,59
<i>Error</i>	7	1668658	238380		
<i>Lack-of-Fit</i>	5	1668596	333719	10876,66	3,97
Total	16	4927881			

- Hipotesis untuk perlakuan yang diberikan adalah sebagai berikut :

$H_0$  : Jumlah plastik tidak berpengaruh terhadap densitas CLC

$H_1$  : Jumlah plastik berpengaruh terhadap densitas CLC

$H_0$  : Fraksi pasir : semen tidak berpengaruh terhadap densitas CLC

$H_1$  : Fraksi pasir : semen berpengaruh terhadap densitas CLC

$H_0$  : Volume air tidak berpengaruh terhadap densitas CLC

$H_1$  : Volume air berpengaruh terhadap densitas CLC

- Keputusan menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ .  
Keputusan gagal ditolak hipotesis awal ( $H_0$ ) jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$ .
- Taraf signifikan ( $\alpha$ ) sebesar 5% atau 0,05

Berdasarkan tabel 4.3 menunjukkan bahwa  $F_{value}$  jumlah plastik  $< F_{tabel}$  dan  $F_{value}$  volume air  $< F_{tabel}$ . Untuk  $F_{value}$  jumlah plastik sebesar 0,11 dan  $F_{value}$  volume air sebesar 1,79 dengan  $F_{tabel}$  sebesar 5,59 sehingga menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya jumlah plastik dan volume air tidak berpengaruh terhadap densitas CLC. Sedangkan  $F_{value}$  fraksi pasir : semen sebesar 7,47 dan  $F_{tabel}$  sebesar 5,59 sehingga  $F_{value}$  fraksi pasir : semen  $> F_{tabel}$ , artinya keputusan menolak  $H_0$  dan fraksi pasir : semen berpengaruh terhadap densitas CLC.

$F_{value}$  kuadrat jumlah plastik  $< F_{tabel}$ ,  $F_{value}$  kuadrat fraksi pasir semen  $< F_{tabel}$ , dan  $F_{value}$  kuadrat volume air  $< F_{tabel}$ . Dengan nilai  $F_{value}$  kuadrat jumlah plastik adalah 0,11, nilai  $F_{value}$  kuadrat fraksi pasir : semen adalah 0,22 dan nilai  $F_{value}$  kuadrat volume air adalah 1,06 dengan  $F_{tabel}$  yaitu 5,59 sehingga menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya ketiga interaksi kuadrat tersebut tidak berpengaruh terhadap densitas CLC.

$F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan fraksi pasir : semen  $< F_{tabel}$ ,  $F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan volume air  $< F_{tabel}$ , dan  $F_{value}$  interaksi fraksi pasir : semen dan volume air  $< F_{tabel}$ . Nilai  $F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan fraksi pasir : semen adalah 0,67,  $F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan volume air adalah 0,05 dan  $F_{value}$  interaksi fraksi pasir : semen dan volume air adalah 1,63 dengan nilai  $F_{tabel}$  adalah 5,59. Dengan demikian keputusannya adalah gagal menolak  $H_0$ . Artinya interaksi dua faktor antara jumlah plastik dan fraksi pasir : semen, interaksi jumlah plastik dan volume air, serta interaksi fraksi pasir : semen dan volume air tidak berpengaruh terhadap densitas CLC.

Hasil analisis varian (*Anova*) untuk persamaan *second order* dalam *uncoded* menggunakan perangkat lunak minitab ditunjukkan pada tabel 4.4 dibawah ini.



Tabel 4. 4 Analisis Varian

<i>Source</i>	<i>DoF</i>	<i>Sum of Square</i>	<i>Mean of Square</i>	<i>F-Value</i>	<i>F-Tabel</i>
Model	9	3259199	362133	1,52	
Jumlah Plastik	1	30503	30503	0,13	5,59
Fraksi Pasir : Semen	1	1796565	1796565	7,54	5,59
Volume Air	1	457827	457827	1,92	5,59
Jumlah Plastik*Jumlah Plastik	1	31773	31773	0,13	5,59
Fraksi Pasir : Semen*Fraksi Pasir Semen	1	53748	53748	0,23	5,59
Volume Air*Volume Air	1	234981	234981	0,99	5,59
Jumlah Plastik*Fraksi Pasir : Semen	1	574410	191470	0,65	5,59
Jumlah Plastik*Volume Air	1	154546	154546	0,05	5,59
Fraksi Pasir : Semen*Volume Air	1	408644	408644	1,71	5,59
<i>Error</i>	7	1668682	238383		
<i>Lack-of-Fit</i>	5	1668620	333724	10876,82	3,97
Total	16	4927881			

- Hipotesis
  - $H_0$  : Jumlah plastik tidak berpengaruh terhadap densitas CLC
  - $H_1$  : Jumlah plastik berpengaruh terhadap densitas CLC
  - $H_0$  : Fraksi pasir : semen tidak berpengaruh terhadap densitas CLC
  - $H_1$  : Fraksi pasir : semen berpengaruh terhadap densitas CLC
  - $H_0$  : Volume air tidak berpengaruh terhadap densitas CLC
  - $H_1$  : Volume air berpengaruh terhadap densitas CLC
- Keputusan menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ .  
Keputusan gagal ditolak hipotesis awal ( $H_0$ ) jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$ .
- Taraf signifikan ( $\alpha$ ) sebesar 5% atau 0,05

Berdasarkan tabel 4.4 menunjukkan bahwa  $F_{value}$  jumlah plastik  $< F_{tabel}$  dan  $F_{value}$  volume air  $< F_{tabel}$ . Untuk  $F_{value}$  jumlah plastik sebesar 0,13 dan  $F_{value}$  volume air sebesar 1,92 dengan  $F_{tabel}$  sebesar 5,59 sehingga menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya jumlah plastik dan volume air tidak berpengaruh terhadap densitas CLC. Sedangkan  $F_{value}$  fraksi pasir : semen sebesar 7,54 dan  $F_{tabel}$  sebesar 5,59 sehingga  $F_{value}$  fraksi pasir : semen  $> F_{tabel}$ , artinya keputusan menolak  $H_0$  dan fraksi pasir : semen berpengaruh terhadap nilai densitas CLC.

$F_{value}$  kuadrat jumlah plastik  $< F_{tabel}$ ,  $F_{value}$  kuadrat fraksi pasir : semen  $< F_{tabel}$ , dan  $F_{value}$  kuadrat volume air  $< F_{tabel}$ . Dengan nilai  $F_{value}$  kuadrat jumlah plastik yaitu 0,13, nilai  $F_{value}$  kuadrat fraksi pasir : semen yaitu 0,23 dan nilai  $F_{value}$  kuadrat volume air yaitu 0,99 dengan  $F_{tabel}$  sebesar 5,59. Dengan demikian menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya ketiga interaksi kuadrat tersebut tidak berpengaruh terhadap densitas CLC.

$F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan fraksi pasir : semen  $< F_{tabel}$ ,  $F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan volume air  $< F_{tabel}$  dan  $F_{value}$  interaksi fraksi pasir : semen dan volume air  $< F_{tabel}$ . Nilai  $F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan fraksi pasir : semen adalah 0,65,  $F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan volume air sebesar 0,05.  $F_{value}$  fraksi pasir : semen dan volume air adalah 1,71 dengan nilai  $F_{tabel}$  adalah 5,59. Sehingga menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya interaksi dua faktor antara jumlah plastik dan fraksi pasir : semen, interaksi jumlah plastik dan volume air serta interaksi fraksi pasir : semen dan volume air tidak berpengaruh terhadap densitas CLC.

#### **4.3.4. Persamaan *Second Order***

Pengolahan data dan analisis data telah divalidasi dengan menggunakan perangkat lunak minitab versi 21.3 (minitab *license*). Perhitungan persamaan *second order* secara lengkap dengan perangkat lunak minitab dilampirkan pada lampiran 6. Untuk mencari persamaan *second order* dengan pendekatan regresi menggunakan persamaan (2.8).

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_3 \\ \hat{\beta}_{11} \\ \hat{\beta}_{22} \\ \hat{\beta}_{33} \\ \hat{\beta}_{12} \\ \hat{\beta}_{13} \\ \hat{\beta}_{23} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T y$$

Dari persamaan di atas, maka perhitungan untuk mendapatkan persamaan *second order* dalam bentuk *coded* sebagai berikut :

**Matrik X**

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1,682 & 0 & 0 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1,682 & 0 & 0 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1,682 & 0 & 0 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1,682 & 0 & 0 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1,682 & 0 & 0 & 2,829 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1,682 & 0 & 0 & 2,829 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

**Matrik Y (Respon Densitas)**

$$\begin{bmatrix} 2062,60 \\ 1242,48 \\ 609,56 \\ 1042,48 \\ 2272,08 \\ 1973,52 \\ 624,60 \\ 835,56 \\ 1953,92 \\ 1860,16 \\ 2107 \\ 1814,68 \\ 1921,16 \\ 768,84 \\ 1502,72 \\ 1502,12 \\ 1512 \end{bmatrix}$$

**Matrik X<sup>T</sup>**

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1,682 & 1,682 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1,682 & 1,682 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,682 & 1,682 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2,829 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2,829 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,829 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

**Matrik(X<sup>T</sup>X)**

$$\begin{bmatrix} 17 & 0 & 0 & 0 & 13,658 & 13,658 & 13,658 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 13,658 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13,658 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 13,658 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 13,658 & 0 & 0 & 0 & 24,008 & 8 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 13,658 & 0 & 0 & 0 & 8 & 24,008 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 13,658 & 0 & 0 & 0 & 8 & 8 & 24,008 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 \end{bmatrix}$$

**Matrik  $(X^T X)^{-1}$**

$$\begin{bmatrix} 0,332 & 0 & 0 & 0 & -0,113 & -0,113 & -0,113 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,073 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,073 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,073 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,113 & 0 & 0 & 0 & 0,089 & 0,026 & 0,026 & 0 & 0 & 0 \\ -0,113 & 0 & 0 & 0 & 0,026 & 0,089 & 0,026 & 0 & 0 & 0 \\ -0,113 & 0 & 0 & 0 & 0,026 & 0,026 & 0,089 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,125 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,125 \end{bmatrix}$$

**Matrik  $X^T y$**

$$\begin{bmatrix} 25605,5 \\ 590,9 \\ -4930,2 \\ -2413,0 \\ 21453,3 \\ 21757,7 \\ 18273,2 \\ -1132,4 \\ 299,6 \\ 1762,6 \end{bmatrix}$$

**Matrik  $(X^T X)^{-1} X^T y$**

$$\begin{bmatrix} 1532,50 \\ 43,27 \\ -360,97 \\ -176,67 \\ 48,97 \\ 67,99 \\ -149,69 \\ -141,55 \\ 37,45 \\ 220,32 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (2.8) didapatkan persamaan *second order* dalam bentuk *coded* sebagai berikut :

$$Y = 1532,50 + 43,27X_1 - 360,97X_2 - 176,67X_3 + 48,97X_1^2 + 67,99X_2^2 - 149,69X_3^2 - 141,55X_1X_2 + 37,45X_1 X_3 + 220,32X_2X_3$$

Dengan :

Y = Prediksi nilai densitas

X<sub>1</sub> = Nilai kode jumlah plastik

X<sub>2</sub> = Nilai kode fraksi pasir : semen

X<sub>3</sub> = Nilai kode volume air

Perhitungan untuk mendapatkan persamaan *second order* dalam bentuk *uncoded* sebagai berikut :

**Matrik X**

1	2	1,333	60	4	1,777	3600	2,667	120	79,980
1	2	1,333	100	4	1,777	10000	2,667	200	133,3
1	2	2	60	4	4	3600	4	120	120
1	2	2	100	4	4	10000	4	200	200
1	4	1,333	60	16	1,777	3600	5,332	240	179,98
1	4	1,333	100	16	1,777	10000	5,332	400	133,3
1	4	2	60	16	4	3600	8	240	120
1	4	2	100	16	4	10000	8	400	200
1	1,318	1,65	80	1,737	2,723	6400	2,175	105,44	132
1	4,682	1,65	80	21,921	2,723	6400	7,725	374,56	132
1	3	1,061	80	9	1,126	6400	3,183	240	84,88
1	3	2,239	80	9	5,013	6400	6,717	240	179,120
1	3	1,65	46,36	9	2,723	2149,2	4,95	139,08	76,494
1	3	1,65	113,64	9	2,723	12914	4,95	340,92	187,506
1	3	1,65	80	9	2,723	6400	4,95	240	132
1	3	1,65	80	9	2,723	6400	4,95	240	132
1	3	1,65	80	9	2,723	6400	4,95	240	132

**Matrik Y (Respon Densitas)**

2062,60
1242,48
609,56
1042,48
2272,08
1973,52
624,60
835,56
1953,92
1860,16
2107
1814,68
1921,16
768,84
1502,72
1502,12
1512

### Matrik $X^T$

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	4	4	4	4	1,32	4,68	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1,33	1,3	2	2	1,33	1,3	2	2	1,65	1,65	1,06	2,24	1,65	1,6	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
60	100	60	100	60	100	60	100	80	80	80	80	46,36	113,6	80	80	80	80	80	80
4	4	4	4	16	16	16	16	1,74	21,92	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1,78	1,8	4	4	1,78	1,8	4	4	2,72	2,72	1,13	5,01	2,72	2,7	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72
3600	10000	3600	10000	3600	10000	3600	10000	6400	6400	6400	6400	2149,25	12914	6400	6400	6400	6400	6400	6400
2,67	2,7	4	4	5,33	5,3	8	8	2,17	7,73	3,18	6,72	4,95	5	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
120	200	120	200	240	400	240	400	105,44	374,56	240	240	139,08	340,9	240	240	240	240	240	240
79,98	133,3	120	200	79,98	133,3	120	200	132	132	84,88	179,12	76,49	187,5	132	132	132	132	132	132

### Matrik $X^T X$

17	51	28	1360	167	48	114263	85	4080	2255
51	167	85	4080	582	145	342790	276	13333	6764
28	85	48	2255	276	85	189432	145	6764	3864
1360	4080	2255	114263	13333	3864	10015192	6764	342790	189432
167	582	276	13333	2139	473	1118982	965	46554	22104
48	145	85	3864	473	155	324550	256	11593	6827
114263	342790	189432	10015192	1118982	324550	909951951	568296	30045575	16605322
85	276	145	6764	965	256	5682296	473	22104	11593
4080	13333	6764	342790	46554	11593	30054475	22104	1118982	568296
2255	6764	3864	189432	22104	6827	16605322	11593	568296	324550

### Matrik $(X^T X)^{-1}$

205,078	-26,140	-119,89	-1,743	1,774	21,745	0,006	5,590	0,075	0,373
-26,140	8,398	10,237	0,141	-0,539	-1,396	-0,0	-1,863	-0,025	-0,0
-119,888	10,237	96,186	0,682	-0,774	-20,319	-0,0	-3,368	0	-0,225
-1,743	0,141	0,682	0,025	-0,011	-0,093	-0,0	-0,0	-0,001	-0,005
1,774	-0,539	-0,774	-0,011	0,090	0,233	0	0	0	0
21,745	-1,396	-20,319	-0,093	0,233	6,118	0,001	0	-0,0	0
0,006	-0,000	-0,002	-0,0	0	0	0	0	0	0
5,590	-1,863	-3,368	0	0	0	0	1,123	-0,0	0
0,075	-0,025	-0,0	-0,0	0	0	0	-0,0	0	0
0,373	-0,0	-0,225	-0,005	0	0	0	0	-0,0	0,003

### Matrik $X^T y$

25605
77407
40773
2000178
255448
67339
163462754
122927
6053802
3193776

### Matrik $(X^T X)^{-1} X^T y$

$$\begin{bmatrix} 6462,32 \\ 264,34 \\ -4419,17 \\ -12,56 \\ 53,41 \\ 573,43 \\ -0,36 \\ -416,55 \\ 1,87 \\ 33,87 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (2.8) didapatkan persamaan *second order* dalam bentuk *uncoded* sebagai berikut :

$$Y = 6462,32 + 264,34X_1 - 4419,17X_2 - 12,56X_3 + 53,41X_1^2 + 573,43X_2^2 - 0,36X_3^2 - 416,55X_1X_2 + 1,87X_1X_3 + 33,87X_2X_3$$

Dengan :

Y = Prediksi nilai densitas

X<sub>1</sub> = Nilai jumlah plastik

X<sub>2</sub> = Nilai fraksi pasir : semen

X<sub>3</sub> = Nilai volume air

#### 4.3.5. Uji Ketidaksesuaian Persamaan Regresi (*Lack of Fit*)

*Lack of fit* digunakan untuk mengetahui ketidaksesuaian persamaan regresi yang telah didapatkan dengan data yang ada.

- Hipotesis  
H<sub>0</sub> : Ketidaksesuaian persamaan regresi dengan data  
H<sub>1</sub> : Kesesuaian persamaan regresi dengan data
- Keputusan menolak hipotesis awal (H<sub>0</sub>) jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ .  
Keputusan gagal ditolak hipotesis awal (H<sub>0</sub>) jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$ .
- Taraf signifikan ( $\alpha$ ) sebesar 5% atau 0,05

Berdasarkan tabel analisis varian menunjukkan bahwa  $F_{value} \text{ lack of fit} > F_{tabel}$ .  $F_{value} \text{ lack of fit}$  persamaan *second order* dalam *coded* adalah 10876,66 dan  $F_{value} \text{ lack of fit}$  persamaan *second order* dalam *uncoded* adalah 10876,82 dengan



$F_{\text{tabel}}$  adalah 3,97. Dengan demikian menunjukkan bahwa keputusannya menolak  $H_0$ . Artinya persamaan regresi yang didapatkan sesuai dengan fakta yang ada.

#### 4.3.6. Analisis Koefisien Determinasi

Untuk menghitung nilai  $R$  square menggunakan persamaan (2.18). Berikut adalah perhitungan  $R$  square untuk persamaan *second order* dalam *coded* :

$$R^2 = \frac{SS_{\text{model}}}{SS_{\text{total}}}$$

$$R^2 = \frac{3259223}{4927881}$$

$$R^2 = 0,6614$$

$$R^2 = 66,14 \%$$

Hasil validasi  $R$  Square di minitab versi 21.3 (minitab license) ditunjukkan pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4. 5 Model Summary

<i>S</i>	<i>R-sq</i>	<i>R-sq (adj)</i>	<i>R-sq (pred)</i>
488,241	66,14%	22,60%	0,00%

Berikut adalah perhitungan  $R$  square untuk persamaan *second order* dalam *uncoded* :

$$R^2 = \frac{SS_{\text{model}}}{SS_{\text{total}}}$$

$$R^2 = \frac{3259199}{4927881}$$

$$R^2 = 0,6614$$

$$R^2 = 66,14 \%$$

Hasil validasi  $R$  Square di minitab versi 21.3 (minitab license) ditunjukkan pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4. 6 Model Summary

<i>S</i>	<i>R-sq</i>	<i>R-sq (adj)</i>	<i>R-sq (pred)</i>
488,241	66,14%	22,60%	0,00%

Berdasarkan nilai *R square* yang didapatkan menunjukkan bahwa persamaan regresi yang terbentuk sebesar 66,14%. Artinya persamaan regresi tersebut dapat menjelaskan atau mewakili populasi yang sebenarnya sebesar 66,14%.

#### 4.3.7. Menentukan *Stationary Point* ( $X_0$ )

Dari persamaan *second order* yang didapatkan, maka untuk menentukan *stationary point* ( $X_0$ ) terlebih dahulu mencari nilai matrik  $B$  dan matrik  $b$ .

$$B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{12}) & \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{13}) \\ \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{12}) & \hat{\beta}_{22} & \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{23}) \\ \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{13}) & \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{23}) & \hat{\beta}_{33} \end{bmatrix} \text{ dan } b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_3 \end{bmatrix}, \text{ sehingga dengan menggunakan}$$

persamaan (2.9) perhitungan  $X_0$  dalam bentuk *coded* sebagai berikut :

$$X_0 = -\frac{1}{2}B^{-1}b$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 48,97 & -70,775 & 18,725 \\ -70,775 & 67,99 & 110,16 \\ 18,725 & 110,16 & -149,69 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 43,27 \\ -360,97 \\ -176,67 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0,0339 & 0,0130 & 0,0138 \\ 0,0130 & 0,0117 & 0,0102 \\ 0,0138 & 0,0102 & 0,0026 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 43,27 \\ -360,97 \\ -176,67 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} -5,64 \\ -5,451 \\ -3,537 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = \begin{bmatrix} 2,821 \\ 2,726 \\ 1,769 \end{bmatrix}$$

Untuk mencari *stationary point* ( $X_0$ ) dalam bentuk *uncoded* maka perhitungannya sebagai berikut :

$$X_0 = -\frac{1}{2}B^{-1}b$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 53,411 & -208,276 & 0,936 \\ -208,276 & 573,432 & 16,934 \\ 0,936 & 16,934 & -0,363 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 264,335 \\ -4419,17 \\ -12,559 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0,028 & 0,003 & 0,228 \\ 0,003 & 0,001 & 0,062 \\ 0,228 & 0,062 & 0,717 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 264,335 \\ -4419,17 \\ -12,559 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} -10,362 \\ -4,923 \\ -221,705 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = \begin{bmatrix} 5,181 \\ 2,462 \\ 110,852 \end{bmatrix}$$

#### 4.3.8. Menentukan Nilai Optimum dari Faktor $X_1$ , $X_2$ , dan $X_3$

Setelah titik *stationary* didapatkan maka digunakan persamaan (2.10) untuk mencari nilai optimum dari setiap variabel bebas. Berikut adalah perhitungan nilai optimum variabel bebas dalam bentuk *coded* :

$$X_0 = \begin{bmatrix} 2,821 \\ 2,726 \\ 1,769 \end{bmatrix}$$

- Mencari nilai optimum untuk jumlah plastik ( $X_1$ )

$$X_1 = \frac{\text{Jumlah plastik} - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$X_1 = \frac{\text{Jumlah plastik} - 3}{\frac{1}{2}(4,682 - 1,318)}$$

$$2,821 = \frac{\text{Jumlah plastik} - 3}{\frac{1}{2}(3,364)}$$

$$2,821 = \frac{\text{Jumlah plastik} - 3}{1,682}$$

$$\text{Jumlah plastik} = 2,821 (1,682) + 3$$

$$\text{Jumlah plastik} = 7,745$$

- Mencari nilai optimum untuk fraksi pasir : semen ( $X_2$ )

$$X_2 = \frac{\text{Fraksi pasir : semen} - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$X_2 = \frac{\text{Fraksi pasir : semen} - 1,65}{\frac{1}{2}(2,2 - 1,3)}$$

$$2,726 = \frac{\text{Fraksi pasir : semen} - 1,65}{\frac{1}{2}(0,9)}$$

$$2,726 = \frac{\text{Fraksi pasir : semen} - 1,65}{0,45}$$

$$\text{Fraksi pasir : semen} = 2,726 (0,45) + 1,65$$

$$\text{Fraksi pasir : semen} = 2,877$$

$$\text{Fraksi pasir : semen} = 5,8 : 2$$

- Mencari nilai optimum untuk volume air ( $X_3$ )

$$X_3 = \frac{\text{Volume air} - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$X_3 = \frac{\text{Volume air} - 80}{\frac{1}{2}(113,64 - 46,36)}$$

$$1,769 = \frac{\text{Volume air} - 80}{\frac{1}{2}(67,28)}$$

$$1,769 = \frac{\text{Volume air} - 80}{33,64}$$

$$\text{Volume air} = 1,769 (33,64) + 80$$

$$\text{Volume air} = 139,509$$

Jadi, kode untuk nilai optimum jumlah plastik adalah 7,745 gram, fraksi pasir : semen adalah 5,8 : 2 dan volume air adalah 139,509 mL.

Berikut adalah perhitungan nilai optimum variabel bebas dalam bentuk *uncoded* :

$$X_0 = \begin{bmatrix} 5,181 \\ 2,462 \\ 110,852 \end{bmatrix}$$

- Mencari nilai optimum untuk jumlah plastik ( $X_1$ )

$$X_1 = \frac{\text{Jumlah plastik} - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$X_1 = \frac{\text{Jumlah plastik} - 3}{\frac{1}{2}(4,682 - 1,318)}$$

$$5,181 = \frac{\text{Jumlah plastik} - 3}{\frac{1}{2}(3,364)}$$

$$5,181 = \frac{\text{Jumlah plastik} - 3}{1,682}$$

$$\text{Jumlah plastik} = 5,181 (1,682) + 3$$

$$\text{Jumlah plastik} = 11,714$$

- Mencari nilai optimum untuk fraksi pasir : semen ( $X_2$ )

$$X_2 = \frac{\text{Fraksi pasir : semen} - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$X_2 = \frac{\text{Fraksi pasir : semen} - 1,65}{\frac{1}{2}(2,2 - 1,3)}$$

$$2,462 = \frac{\text{Fraksi pasir : semen} - 1,65}{\frac{1}{2}(0,9)}$$

$$2,462 = \frac{\text{Fraksi pasir : semen} - 1,65}{0,45}$$

$$\text{Fraksi pasir : semen} = 2,462 (0,45) + 1,65$$

$$\text{Fraksi pasir : semen} = 2,7579$$

$$\text{Fraksi pasir : semen} = 5,52 : 2$$

- Mencari nilai optimum untuk volume air ( $X_3$ )

$$X_3 = \frac{\text{Volume air} - \text{Center Point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$X_3 = \frac{\text{Volume Air} - 80}{\frac{1}{2}(113,64 - 46,36)}$$

$$110,852 = \frac{\text{Volume Air} - 80}{\frac{1}{2}(67,28)}$$

$$110,852 = \frac{\text{Volume Air} - 80}{33,64}$$

$$\text{Volume air} = 110,852 (33,64) + 80$$

$$\text{Volume air} = 3809,06$$

Jadi, nilai optimum untuk jumlah plastik adalah 11,714 gram, fraksi pasir : semen adalah 5,52 : 2 dan volume air adalah 3809,06 mL.

#### 4.3.9. Menentukan Prediksi Nilai Respon Densitas Pada *Stationary Point*

Menggunakan persamaan (2.11) didapatkan prediksi nilai respon dari *stationary point*. Berikut adalah perhitungannya :

$$\hat{y}_0 = \beta_0 + \frac{1}{2}x_0'b$$

$$\hat{y}_0 = 6462,32 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 5,181 \\ 2,462 \\ 110,852 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 264,335 \\ -4419,17 \\ -12,559 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y}_0 = 6462,32 + \frac{1}{2} [5,181 \quad 2,462 \quad 110,852] \begin{bmatrix} 264,335 \\ -4419,17 \\ -12,559 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y}_0 = 1010,986$$

Sehingga prediksi nilai respon densitas dari *stationary point* adalah 1010,986 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.3.10. Analisis Kanonikal

Model bentuk kanonikal ditentukan dari persamaan *second order*. Dengan menggunakan persamaan (2.12) maka persamaan yang didapatkan sebagai berikut :

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 \omega_1^2 + \lambda_2 \omega_2^2 + \lambda_3 \omega_3^2$$

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + 53,41\omega_1^2 + 573,43\omega_2^2 - 0,36\omega_3^2$$

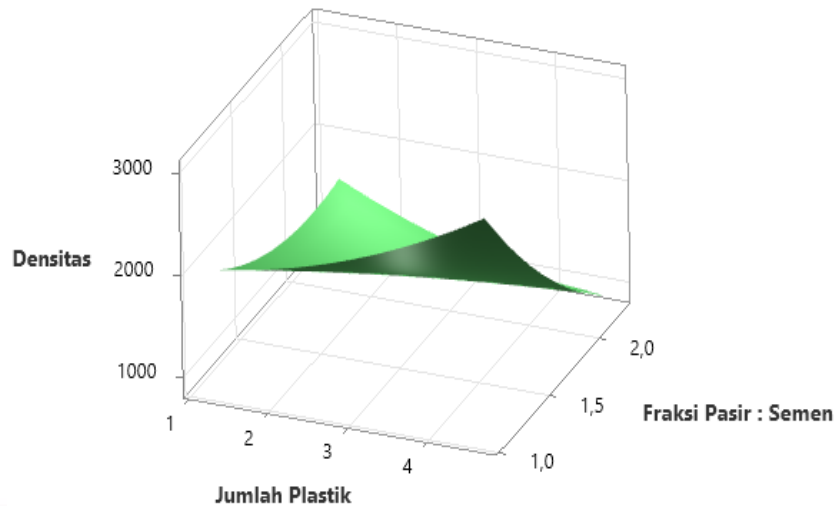
Berdasarkan model bentuk kanonikal menunjukkan bahwa nilai konstanta dari  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , dan  $\lambda_3$  dari persamaan diatas yaitu berbeda tanda sehingga model bentuk kanonikal adalah *saddle point*. Artinya pada *saddle point* bahwa nilai optimal tidak terletak pada titik maksimum atau minimum, melainkan pada titik-titik tertentu yaitu pada titik  $X_0$  (*stationary point*).

#### 4.3.11. Grafik Surface Plot

Grafik *surface plot* menggambarkan bentuk permukaan dari hubungan interaksi antarvariabel bebas dengan letak titik stasioner diperkirakan dapat mengoptimalkan nilai respon densitas. Hubungan interaksi antarvariabel diplotkan dengan dua variabel bebas yaitu antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik, interaksi antara volume air dan jumlah plastik, dan interaksi antara volume air dan fraksi pasir : semen. Sehingga bentuk permukaan dari hubungan interaksi antar variabel bebas tersebut dapat dilihat pada grafik *surface plot* dibawah ini. Grafik *surface plot* telah divalidasi menggunakan perangkat lunak minitab versi 21.3 (*minitab license*).

**a) Surface Plot Interaksi Fraksi Pasir : Semen dan Jumlah Plastik**

Surface plot densitas antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik ditunjukkan pada gambar 4.8 dibawah ini.

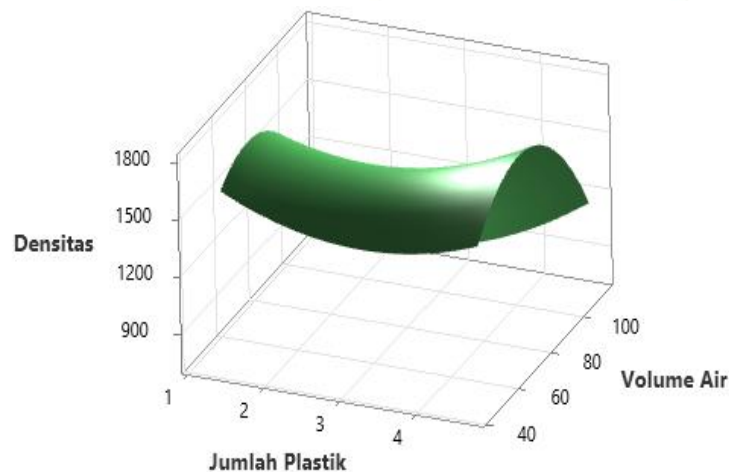


Gambar 4. 8 Surface plot densitas antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik

Berdasarkan gambar 4.8 bahwa kurva yang terbentuk adalah titik minimum dan berdasar pada nilai *stationary point* maka titik optimal (*uncoded*) fraksi pasir : semen berada pada 2,462 dan titik optimal (*uncoded*) jumlah plastik pada 5,181. Dengan nilai optimal yaitu fraksi pasir : semen adalah 5,52 : 2 dan jumlah plastik adalah 11,714 gram.

**b) Surface Plot Interaksi Volume Air dan Jumlah Plastik**

Surface plot densitas antara volume air dan jumlah plastik ditunjukkan pada gambar 4.9 dibawah ini.

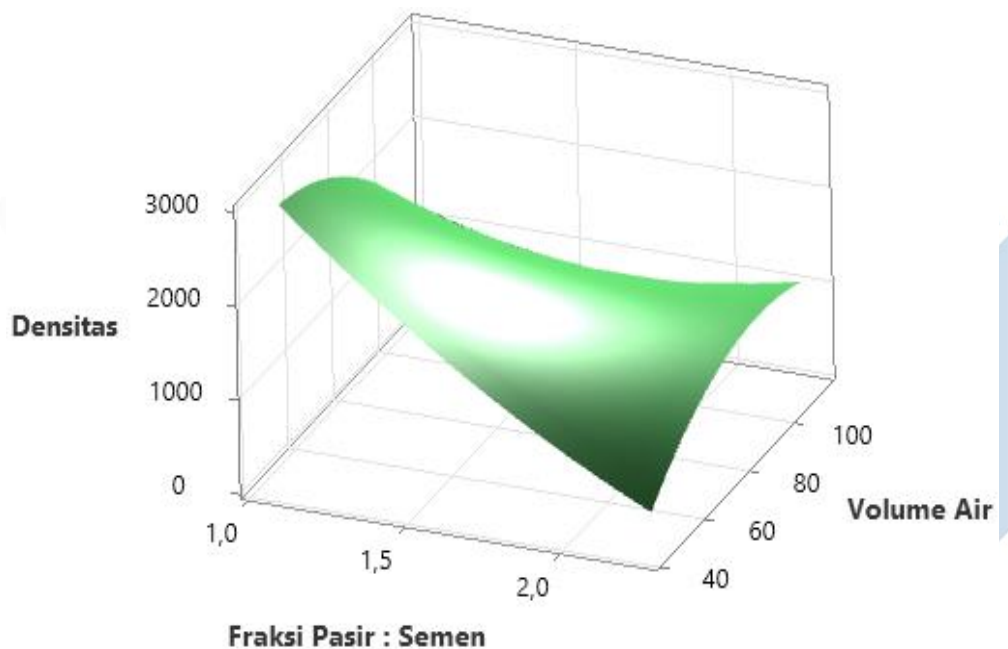


Gambar 4. 9 Surface plot densitas antara volume air dan jumlah plastik

Berdasarkan gambar 4.9 bahwa grafik yang terbentuk adalah *saddle point* dan berdasar pada nilai *stationary point* bahwa titik optimal (*uncoded*) volume air yaitu 110,852 dan titik optimal (*uncoded*) jumlah plastik yaitu 5,181. Dengan demikian nilai optimal volume air adalah 3809,06 mL dan jumlah plastik adalah 11,714 gram.

### c) *Surface Plot* Interaksi Volume Air dan Fraksi Pasir : Semen

*Surface plot* dari densitas antara volume air dan fraksi pasir : semen ditunjukkan pada gambar 4.10 dibawah ini.



Gambar 4. 10 *Surface plot* densitas antara volume air dan fraksi pasir : semen

Berdasarkan *surface plot* yang terbentuk yaitu *saddle point* dan berdasar pada nilai *stationary point* bahwa titik optimal (*uncoded*) volume air yaitu 110,852 dan titik optimal (*uncoded*) fraksi pasir : semen yaitu 2,462. Dengan nilai optimal volume air adalah 3809,06 mL dan fraksi pasir : semen adalah 5,52 : 2.

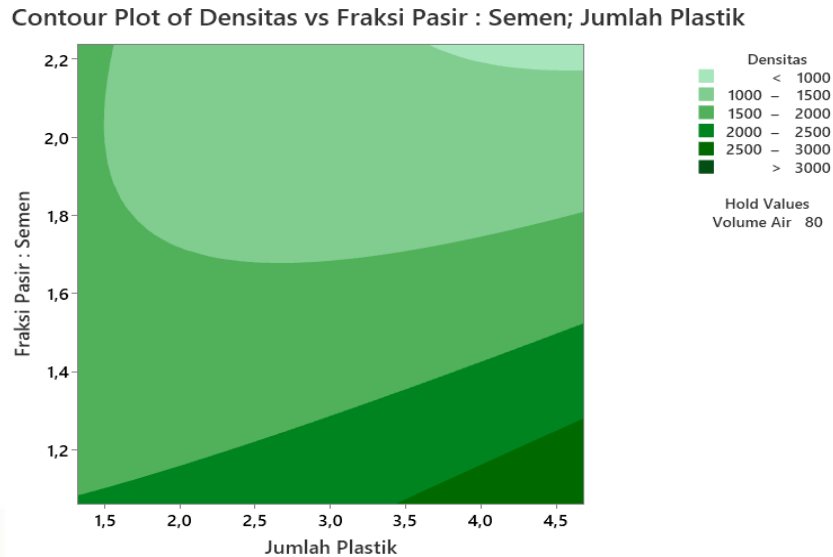
#### 4.3.12. Grafik *Contour Plot*

Grafik *contour plot* telah divalidasi menggunakan perangkat lunak minitab versi 21.3 (minitab license).



**a) Contour Plot Interaksi Fraksi Pasir : Semen dan Jumlah Plastik**

Grafik *contour plot* dari densitas antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik ditunjukkan pada gambar 4.11 dibawah ini.

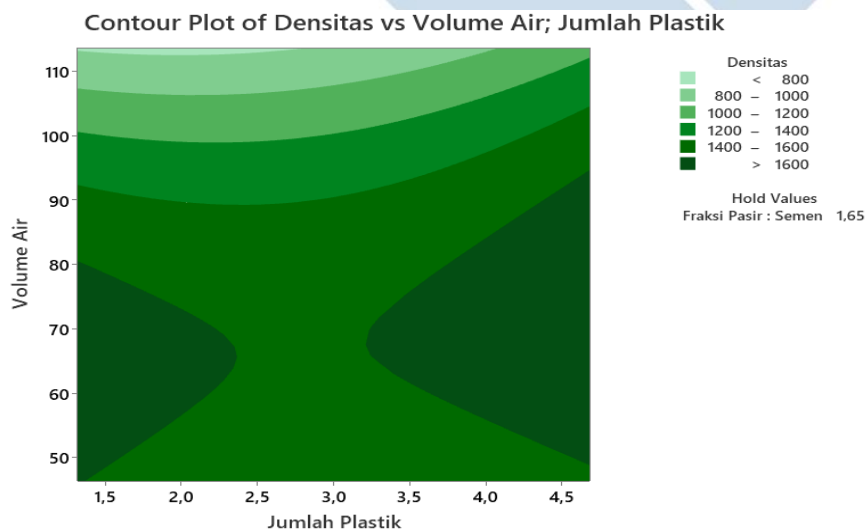


Gambar 4. 11 *Contour plot* densitas antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik

Berdasarkan gambar 4.11 bahwa nilai yang digunakan untuk bata ringan dengan densitas antara  $1000 \text{ kg/m}^3$ – $1500 \text{ kg/m}^3$  adalah jumlah plastik 3,5 gram dan fraksi pasir : semen pada 2,2 gram.

**b) Contour Plot Interaksi Volume Air dan Jumlah Plastik**

Grafik *contour plot* dari densitas antara volume air dan jumlah plastik ditunjukkan pada gambar 4.12 dibawah ini.

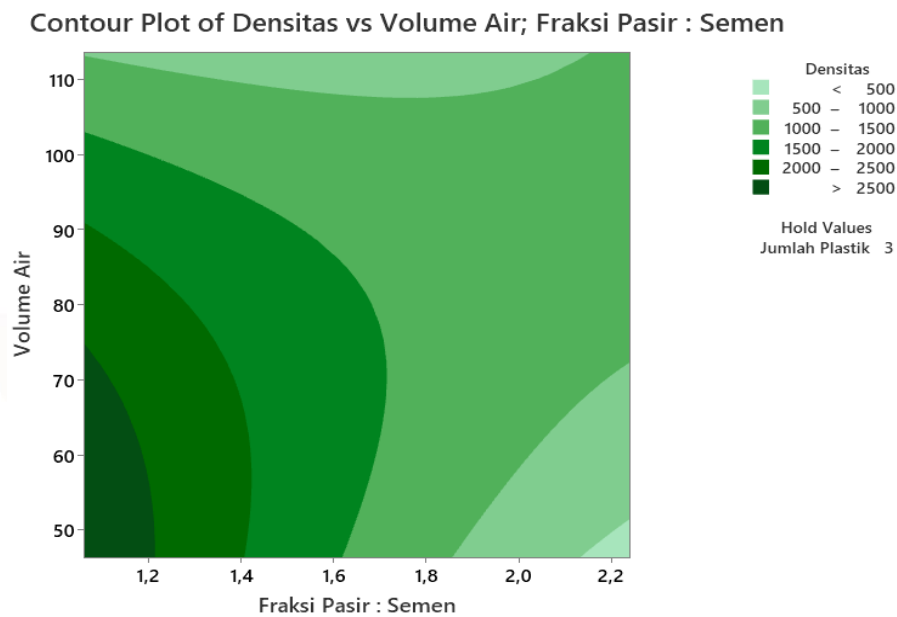


Gambar 4. 12 *Contour plot* densitas antara volume air dan jumlah plastik

Berdasarkan *contour plot* diatas bahwa untuk densitas bata ringan antara  $1400 \text{ kg/m}^3$ – $1600 \text{ kg/m}^3$  maka nilai interaksi variabel bebas yang digunakan yaitu jumlah plastik 3,0 gram dan volume air 70 mL.

### c) *Contour Plot* Interaksi Volume Air dan Fraksi Pasir : Semen

Grafik *contour plot* dari densitas antara volume air dan faktor fraksi pasir : semen ditunjukkan pada gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4. 13 *Contour plot* densitas antara volume air dan fraksi pasir : semen

Berdasarkan gambar 4.13 bahwa *contour plot* untuk bata ringan dengan densitas antara  $1000 \text{ kg/m}^3$ – $1500 \text{ kg/m}^3$  maka nilai interaksi variabel bebas yang digunakan adalah fraksi pasir : semen 2,0 gram dan volume air 90 mL.

## 4.4. Analisis Data Respon Kuat Tekan

### 4.4.1. Perhitungan Nilai Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bata ringan menggunakan *Compression Testing Machine Zwick Roell*. Standar uji tekan yang digunakan yaitu standar ISO 604. Hasil pengujian kuat tekan bata ringan secara lengkap dilampirkan pada lampiran 7. Gambar 4.14 menunjukkan proses pengujian kuat tekan bata ringan.



Gambar 4. 14 Bata ringan sebelum dan sesudah dilakukan uji tekan

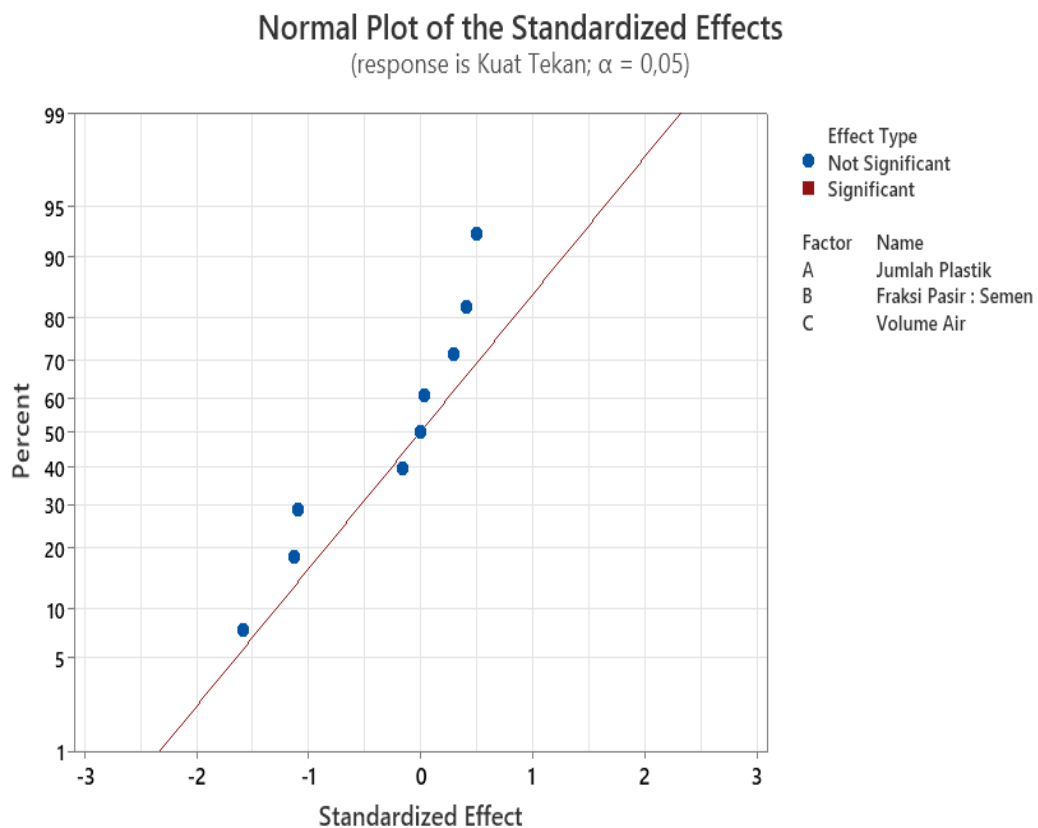
Setelah dilakukan pengujian kuat tekan maka didapatkan hasil pengujian kuat tekan dengan satuan MPa, sehingga dikonversi ke satuan Kg/Cm<sup>2</sup>. Perhitungan kuat tekan secara lengkap dilampirkan pada lampiran 8. Berikut ini disajikan tabel 4.7 hasil pengujian kuat tekan.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Nomor Sampel	Variasi			Nilai Kuat Tekan	
	Jumlah Plastik (Gram)	Fraaksi Pasir : Semen (Gram)	Volume Air (mL)	MPa	Kg/Cm <sup>2</sup>
1	2	4 : 3	60	8,17	83,309
2	2	4 : 3	100	5,07	51,699
3	2	2 : 1	60	0,742	7,566
4	2	2 : 1	100	1,66	16,927
5	4	4 : 3	60	17,9	182,526
6	4	4 : 3	100	15,1	153,975
7	4	2 : 1	60	0,341	3,477
8	4	2 : 1	100	0,989	10,085
9	1,318	3,3 : 2	80	16,3	166,211
10	4,682	3,3 : 2	80	5,71	58,225
11	3	4,2 : 2	80	8,59	87,592
12	3	4,4 : 2	80	11,1	113,187
13	3	3,3 : 2	46,36	13,9	141,738
14	3	3,3 : 2	113,64	0,752	7,668
15	3	3,3 : 2	80	6,14	62,610
16	3	3,3 : 2	80	4,89	49,863
17	3	3,3 : 2	80	7,37	75,152

#### 4.4.2. Uji Normalitas

Nilai respon kuat tekan selanjutnya diuji kenormalannya. Uji normalitas dilakukan dengan bantuan perangkat lunak minitab versi 21.3 (minitab *license*). Hasil uji normalitas ditunjukkan pada gambar 4.15 dibawah ini. Berdasar pada gambar tersebut, data menunjukkan tingkat kenormalan data yang signifikan. Dengan demikian data respon kuat tekan dapat disimpulkan mengikuti pola distribusi normal.



Gambar 4. 15 Grafik *Normal Plot of the Standardized Effects*

#### 4.4.3. Sampel Analisis Varian (*Anova*)

Analisis varian (*Anova*) untuk persamaan *second order* dalam *coded* dilakukan menggunakan perangkat lunak minitab versi 21.3 (minitab *license*). Hasil analisis ditunjukkan pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4. 8 Analisis Varian

<i>Source</i>	<i>DoF</i>	<i>Sum of Square</i>	<i>Mean of Square</i>	<i>F-Value</i>	<i>F-Tabel</i>
Model	9	24699,0	2744,3	0,62	
Jumlah Plastik	1	5,8	5,8	0,00	5,59
Fraksi Pasir : Semen	1	11159,2	11159,2	2,52	5,59
Volume Air	1	5325,5	5325,5	1,20	5,59
Jumlah Plastik*Jumlah Plastik	1	1127,0	1127,0	0,25	5,59
Fraksi Pasir : Semen*Fraksi Pasir Semen	1	381,5	381,5	0,09	5,59
Volume Air*Volume Air	1	120,1	120,1	0,03	5,59
Jumlah Plastik*Fraksi Pasir : Semen	1	5640,5	5640,5	1,28	5,59
Jumlah Plastik*Volume Air	1	0,0	0,0	0,00	5,59
Fraksi Pasir : Semen*Volume Air	1	724,5	724,5	0,16	5,59
<i>Error</i>	7	30951,2	4421,6		
<i>Lack-of-Fit</i>	5	30631,5	6126,3	38,32	3,97
Total	16	55650,2			

- Hipotesis untuk perlakuan yang diberikan adalah sebagai berikut :  
 $H_0$  : Jumlah plastik tidak berpengaruh terhadap kuat tekan CLC  
 $H_1$  : Jumlah plastik berpengaruh terhadap kuat tekan CLC  
 $H_0$  : Fraksi pasir : semen tidak berpengaruh terhadap kuat tekan CLC  
 $H_1$  : Fraksi pasir : semen berpengaruh terhadap kuat tekan CLC  
 $H_0$  : Volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan CLC  
 $H_1$  : Volume air berpengaruh terhadap kuat tekan CLC
- Keputusan menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ .  
Keputusan gagal ditolak hipotesis awal ( $H_0$ ) jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$ .
- Taraf signifikan ( $\alpha$ ) sebesar 5% atau 0,05

Berdasarkan tabel 4.8 menunjukkan bahwa  $F_{value}$  jumlah plastik  $< F_{tabel}$ ,  $F_{value}$  fraksi pasir : semen  $< F_{tabel}$  dan  $F_{value}$  volume air  $< F_{tabel}$ . Untuk  $F_{value}$  jumlah plastik sebesar 0,00,  $F_{value}$  fraksi pasir : semen sebesar 2,52 dan  $F_{value}$  volume air

sebesar 1,20 dengan  $F_{\text{tabel}}$  sebesar 5,59 sehingga menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya jumlah plastik, fraksi pasir : semen, dan volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan CLC.

$F_{\text{value}}$  kuadrat jumlah plastik  $< F_{\text{tabel}}$ ,  $F_{\text{value}}$  kuadrat fraksi pasir semen  $< F_{\text{tabel}}$ , dan  $F_{\text{value}}$  kuadrat volume air  $< F_{\text{tabel}}$ . Dengan nilai  $F_{\text{value}}$  kuadrat jumlah plastik adalah 0,25, nilai  $F_{\text{value}}$  kuadrat fraksi pasir : semen adalah 0,09 dan nilai  $F_{\text{value}}$  kuadrat volume air adalah 0,03 dengan nilai  $F_{\text{tabel}}$  adalah 5,59 sehingga menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya ketiga interaksi kuadrat tersebut tidak berpengaruh terhadap kuat tekan CLC.

$F_{\text{value}}$  interaksi jumlah plastik dan fraksi pasir : semen  $< F_{\text{tabel}}$ ,  $F_{\text{value}}$  interaksi jumlah plastik dan volume air  $< F_{\text{tabel}}$  dan  $F_{\text{value}}$  interaksi fraksi pasir : semen dan volume air  $< F_{\text{tabel}}$ . Nilai  $F_{\text{value}}$  interaksi jumlah plastik dan fraksi pasir : semen yaitu 1,28,  $F_{\text{value}}$  interaksi jumlah plastik dan volume air yaitu 0,00 dan  $F_{\text{value}}$  interaksi fraksi pasir : semen dengan volume air sebesar 0,16 dengan  $F_{\text{tabel}}$  yaitu 5,59. Dengan demikian menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya interaksi dua faktor antara jumlah plastik dan fraksi pasir : semen, interaksi jumlah plastik dan volume air serta interaksi fraksi pasir : semen dan volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan CLC.

Hasil analisis varian (*Anova*) untuk persamaan *second order* dalam *uncoded* menggunakan perangkat lunak minitab ditunjukkan pada tabel 4.9.

Berdasarkan tabel 4.9 menunjukkan bahwa  $F_{\text{value}}$  jumlah plastik  $< F_{\text{tabel}}$ ,  $F_{\text{value}}$  fraksi pasir : semen  $< F_{\text{tabel}}$ , dan  $F_{\text{value}}$  volume air  $< F_{\text{tabel}}$ . Untuk  $F_{\text{value}}$  jumlah plastik adalah 0,01,  $F_{\text{value}}$  fraksi pasir : semen adalah 2,43 dan  $F_{\text{value}}$  volume air adalah 1,21 dengan  $F_{\text{tabel}}$  yaitu 5,59 sehingga menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya jumlah plastik, fraksi pasir : semen, dan volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan CLC.

$F_{\text{value}}$  kuadrat jumlah plastik  $< F_{\text{tabel}}$ ,  $F_{\text{value}}$  kuadrat fraksi pasir : semen  $< F_{\text{tabel}}$ , dan  $F_{\text{value}}$  kuadrat volume air  $< F_{\text{tabel}}$ . Dengan nilai  $F_{\text{value}}$  kuadrat jumlah plastik adalah 0,25,  $F_{\text{value}}$  kuadrat fraksi pasir : semen adalah 0,07 dan  $F_{\text{value}}$  kuadrat volume air adalah 0,02 dengan nilai  $F_{\text{tabel}}$  adalah 5,59 sehingga

menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya ketiga interaksi kuadrat tersebut tidak berpengaruh terhadap kuat tekan CLC.

$F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan fraksi pasir : semen  $< F_{value}$ ,  $F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan volume air  $< F_{tabel}$ , dan  $F_{value}$  interaksi fraksi pasir : semen dan volume air  $< F_{tabel}$ . Nilai  $F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan fraksi pasir : semen adalah 1,14, nilai  $F_{value}$  interaksi jumlah plastik dan volume air adalah 0,00 dan nilai  $F_{value}$  interaksi pasir : semen dan volume air adalah 0,18 dengan nilai  $F_{tabel}$  adalah 5,59. Dengan demikian menunjukkan bahwa keputusannya gagal menolak  $H_0$ . Artinya interaksi dua faktor antara jumlah plastik dan fraksi pasir : semen, interaksi jumlah plastik dan volume air serta interaksi fraksi pasir : semen dan volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan CLC.

Tabel 4. 9 Analisis Varian

<i>Source</i>	<i>DoF</i>	<i>Sum of Square</i>	<i>Mean of Square</i>	<i>F-Value</i>	<i>F-Tabel</i>
Model	9	23931,4	2659,0	0,59	
Jumlah Plastik	1	26,3	26,3	0,01	5,59
Fraksi Pasir : Semen	1	11030,9	11030,9	2,43	5,59
Volume Air	1	5478,4	5478,4	1,21	5,59
Jumlah Plastik*Jumlah Plastik	1	1146,5	1146,5	0,25	5,59
Fraksi Pasir : Semen*Fraksi Pasir Semen	1	309,2	309,2	0,07	5,59
Volume Air*Volume Air	1	108,0	108,0	0,02	5,59
Jumlah Plastik*Fraksi Pasir : Semen	1	5158,8	5158,8	1,14	5,59
Jumlah Plastik*Volume Air	1	0,0	0,0	0,00	5,59
Fraksi Pasir : Semen*Volume Air	1	834,7	834,7	0,18	5,59
<i>Error</i>	7	31718,8	4531,3		
<i>Lack-of-Fit</i>	5	31399,0	6279,8	39,28	3,97
Total	16	55650,2			

#### 4.4.4. Persamaan *Second Order*

Pengolahan data dan analisis data telah divalidasi menggunakan perangkat lunak minitab versi 21.3 (minitab *license*). Perhitungan persamaan *second order*

secara lengkap dengan perangkat lunak minitab dilampirkan pada lampiran 9. Untuk mencari persamaan *second order* dengan pendekatan regresi menggunakan persamaan (2.8)

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_3 \\ \hat{\beta}_{11} \\ \hat{\beta}_{22} \\ \hat{\beta}_{33} \\ \hat{\beta}_{12} \\ \hat{\beta}_{13} \\ \hat{\beta}_{23} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T y$$

Dari persamaan diatas, maka perhitungan untuk mendapatkan persamaan *second order* dalam bentuk *coded* sebagai berikut :

**Matrik X**

1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1
1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1
1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1
1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1
1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	-1,682	0	0	2,829	0	0	0	0	0
1	1,682	0	0	2,829	0	0	0	0	0
1	0	-1,682	0	0	2,829	0	0	0	0
1	0	1,682	0	0	2,829	0	0	0	0
1	0	0	-1,682	0	0	2,829	0	0	0
1	0	0	1,682	0	0	2,829	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0



**Matrik Y (Respon Kuat Tekan)**

$$\begin{bmatrix} 83,309 \\ 51,699 \\ 7,566 \\ 16,927 \\ 182,526 \\ 153,975 \\ 3,477 \\ 10,085 \\ 166,211 \\ 58,225 \\ 87,592 \\ 113,187 \\ 141,738 \\ 7,668 \\ 62,610 \\ 49,863 \\ 75,152 \end{bmatrix}$$

**Matrik X<sup>T</sup>**

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1,682 & 1,682 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1,682 & 1,682 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,682 & 1,682 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2,829 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2,829 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,829 & 2,829 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

**Matrik (X<sup>T</sup>X)**

$$\begin{bmatrix} 17 & 0 & 0 & 0 & 13,658 & 13,658 & 13,658 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 13,658 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13,658 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 13,658 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 13,658 & 0 & 0 & 0 & 24,008 & 8 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 13,658 & 0 & 0 & 0 & 8 & 24,008 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 13,658 & 0 & 0 & 0 & 8 & 8 & 24,008 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 \end{bmatrix}$$

**Matrik  $(X^T X)^{-1}$**

$$\begin{bmatrix} 0,332 & 0 & 0 & 0 & -0,113 & -0,113 & -0,113 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,073 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,073 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,073 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,113 & 0 & 0 & 0 & 0,089 & 0,026 & 0,026 & 0 & 0 & 0 \\ -0,113 & 0 & 0 & 0 & 0,026 & 0,089 & 0,026 & 0 & 0 & 0 \\ -0,113 & 0 & 0 & 0 & 0,026 & 0,026 & 0,089 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,125 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,125 \end{bmatrix}$$

**Matrik  $X^T y$**

$$\begin{bmatrix} 1271,81 \\ 8,93 \\ -390,40 \\ -269,70 \\ 1144,52 \\ 1077,59 \\ 932,25 \\ -212,42 \\ 0,31 \\ 76,13 \end{bmatrix}$$

**Matrik  $(X^T X)^{-1} X^T y$**

$$\begin{bmatrix} 64,730 \\ 0,654 \\ -28,584 \\ -19,746 \\ 9,997 \\ 5,816 \\ -3,263 \\ -26,553 \\ 0,033 \\ 9,516 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (2.8) didapatkan persamaan *second order* dalam bentuk *coded* sebagai berikut :

$$Y = 64,730 + 0,654X_1 - 28,584X_2 - 19,746X_3 + 9,997X_1^2 + 5,816X_2^2 - 3,263X_3^2 - 26,553X_1X_2 + 0,033X_1X_3 + 9,516X_2X_3$$

Dengan :

Y = Prediksi nilai kuat tekan

X<sub>1</sub> = Nilai kode jumlah plastik

X<sub>2</sub> = Nilai kode fraksi pasir : semen

X<sub>3</sub> = Nilai kode volume air

Perhitungan untuk mendapatkan persamaan *second order* dalam bentuk *uncoded* sebagai berikut :

**Matrik X**

1	2	1,333	60	4	1,777	3600	2,667	120	79,980
1	2	1,333	100	4	1,777	10000	2,667	200	133,3
1	2	2	60	4	4	3600	4	120	120
1	2	2	100	4	4	10000	4	200	200
1	4	1,333	60	16	1,777	3600	5,332	240	179,98
1	4	1,333	100	16	1,777	10000	5,332	400	133,3
1	4	2	60	16	4	3600	8	240	120
1	4	2	100	16	4	10000	8	400	200
1	1,318	1,65	80	1,737	2,723	6400	2,175	105,44	132
1	4,682	1,65	80	21,921	2,723	6400	7,725	374,56	132
1	3	1,061	80	9	1,126	6400	3,183	240	84,88
1	3	2,239	80	9	5,013	6400	6,717	240	179,120
1	3	1,65	46,36	9	2,723	2149,2	4,95	139,08	76,494
1	3	1,65	113,64	9	2,723	12914	4,95	340,92	187,506
1	3	1,65	80	9	2,723	6400	4,95	240	132
1	3	1,65	80	9	2,723	6400	4,95	240	132
1	3	1,65	80	9	2,723	6400	4,95	240	132

**Matrik Y (Respon Kuat Tekan)**

83,309
51,699
7,566
16,927
182,526
153,975
3,477
10,085
166,211
58,225
87,592
113,187
141,738
7,668
62,610
49,863
75,152

### Matrik $X^T$

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	4	4	4	4	1,32	4,68	3	3	3	3	3	3	3	3
1,33	1,3	2	2	1,33	1,3	2	2	1,65	1,65	1,06	2,24	1,65	1,6	1,65	1,65	1,65	1,65
60	100	60	100	60	100	60	100	80	80	80	80	46,36	113,6	80	80	80	80
4	4	4	4	16	16	16	16	1,74	21,92	9	9	9	9	9	9	9	9
1,78	1,8	4	4	1,78	1,8	4	4	2,72	2,72	1,13	5,01	2,72	2,7	2,72	2,72	2,72	2,72
3600	10000	3600	10000	3600	10000	3600	10000	6400	6400	6400	6400	2149,25	12914	6400	6400	6400	6400
2,67	2,7	4	4	5,33	5,3	8	8	2,17	7,73	3,18	6,72	4,95	5	4,95	4,95	4,95	4,95
120	200	120	200	240	400	240	400	105,44	374,56	240	240	139,08	340,9	240	240	240	240
79,98	133,3	120	200	79,98	133,3	120	200	132	132	84,88	179,12	76,49	187,5	132	132	132	132

### Matrik $X^T X$

17	51	28	1360	167	48	114263	85	4080	2255
51	167	85	4080	582	145	342790	276	13333	6764
28	85	48	2255	276	85	189432	145	6764	3864
1360	4080	2255	114263	13333	3864	10015192	6764	342790	189432
167	582	276	13333	2139	473	1118982	965	46554	22104
48	145	85	3864	473	155	324550	256	11593	6827
114263	342790	189432	10015192	1118982	324550	909951951	568296	30045575	16605322
85	276	145	6764	965	256	5682296	473	22104	11593
4080	13333	6764	342790	46554	11593	30054475	22104	1118982	568296
2255	6764	3864	189432	22104	6827	16605322	11593	568296	324550

### Matrik $(X^T X)^{-1}$

205,078	-26,140	-119,89	-1,743	1,774	21,745	0,006	5,590	0,075	0,373
-26,140	8,398	10,237	0,141	-0,539	-1,396	-0,0	-1,863	-0,025	-0,0
-119,888	10,237	96,186	0,682	-0,774	-20,319	-0,0	-3,368	0	-0,225
-1,743	0,141	0,682	0,025	-0,011	-0,093	-0,0	-0,0	-0,001	-0,005
1,744	-0,539	-0,774	-0,011	0,090	0,233	0	0	0	0
21,745	-1,396	-20,319	-0,093	0,233	6,118	0,001	0	-0,0	0
0,006	-0,000	-0,002	-0,0	0	0	0	0	0	0
5,590	-1,863	-3,368	0	0	0	0	1,123	-0,0	0
0,075	-0,025	-0,0	-0,0	0	0	0	-0,0	0	0
0,373	-0,0	-0,225	-0,005	0	0	0	0	-0,0	0,003

### Matrik $X^T y$

1272
3824
1977
96351
12644
3185
7649452
5879
289773
149786

### Matrik $(X^T X)^{-1} X^T y$

$$\begin{bmatrix} 265,406 \\ 65,935 \\ -121,291 \\ -2,288 \\ 10,146 \\ 43,496 \\ -0,008 \\ -76,105 \\ 0,002 \\ 1,531 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (2.8) didapatkan persamaan *second order* dalam bentuk *uncoded* sebagai berikut :

$$Y = 265,406 + 65,935X_1 - 121,291X_2 - 2,288X_3 + 10,146X_1^2 + 43,496X_2^2 - 0,008X_3^2 - 76,105X_1X_2 + 0,002X_1X_3 + 1,531X_2X_3$$

Dengan :

Y = Prediksi nilai kuat tekan

X<sub>1</sub> = Nilai jumlah plastik

X<sub>2</sub> = Nilai fraksi pasir : semen

X<sub>3</sub> = Nilai volume air

#### 4.4.5. Uji Ketidaksesuaian Persamaan Regresi (*Lack of Fit*)

*Lack of Fit* digunakan untuk mengetahui ketidaksesuaian persamaan regresi yang telah didapatkan dengan data yang ada.

- Hipotesis  
H<sub>0</sub> : Ketidaksesuaian persamaan regresi dengan data  
H<sub>1</sub> : Kesesuaian persamaan regresi dengan data
- Keputusan menolak hipotesis awal (H<sub>0</sub>) jika F<sub>hitung</sub> > F<sub>tabel</sub>.  
Keputusan gagal ditolak hipotesis awal (H<sub>0</sub>) jika F<sub>hitung</sub> < F<sub>tabel</sub>.
- Taraf signifikan ( $\alpha$ ) sebesar 5% atau 0,05

Berdasarkan tabel analisis varian menunjukkan bahwa F<sub>value</sub> *lack of fit* > F<sub>tabel</sub>. F<sub>value</sub> *lack of fit* persamaan *second order* dalam *coded* adalah 38,32 dan F<sub>value</sub>

*lack of fit* persamaan *second order* dalam *uncoded* adalah 39,28 dengan nilai  $F_{\text{tabel}}$  adalah 3,97 sehingga menunjukkan bahwa keputusannya menolak  $H_0$ . Artinya persamaan regresi yang didapatkan sesuai dengan fakta yang ada.

#### 4.4.6. Analisis Koefisien Determinasi

Untuk menghitung nilai *R square* dengan menggunakan persamaan (2.18). Berikut adalah perhitungan *R square* untuk persamaan *second order* dalam *coded* :

$$R^2 = \frac{SS_{\text{model}}}{SS_{\text{total}}}$$

$$R^2 = \frac{24699,0}{55650,2}$$

$$R^2 = 0,44382$$

$$R^2 = 44,38 \%$$

Hasil validasi *R square* di perangkat lunak minitab versi 21.3 (minitab license) disajikan pada tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4. 10 Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
66,4952	44,38%	0,00%	0,00%

Berdasarkan nilai *R Square* diatas menunjukkan bahwa persamaan regresi yang terbentuk sebesar 44,38%. Artinya persamaan regresi tersebut dapat menjelaskan atau mewakili populasi yang sebenarnya sebesar 44,38%.

Berikut adalah perhitungan *R square* untuk persamaan *second order* dalam *uncoded* :

$$R^2 = \frac{SS_{\text{model}}}{SS_{\text{total}}}$$

$$R^2 = \frac{23931,4}{55650,2}$$

$$R^2 = 0,430$$

$$R^2 = 43,00 \%$$

Hasil validasi *R Square* di minitab versi 21.3 (minitab *license*) ditunjukkan pada tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4. 11 Model *Summary*

<i>S</i>	<i>R-sq</i>	<i>R-sq (adj)</i>	<i>R-sq (pred)</i>
67,3146	43,00%	0,00%	0,00%

Berdasarkan nilai *R Square* pada tabel 4.11 menunjukkan bahwa persamaan regresi yang terbentuk sebesar 43,00%. Artinya persamaan regresi tersebut dapat menjelaskan atau mewakili populasi yang sebenarnya sebesar 43,00% .

#### 4.4.7. Menentukan *Stationary Point* ( $X_0$ )

Dari persamaan *second order* yang didapatkan, maka untuk menentukan *stationary point* ( $X_0$ ) terlebih dahulu mencari nilai matrik *B* dan matrik *b*.

$$B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{12}) & \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{13}) \\ \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{12}) & \hat{\beta}_{22} & \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{23}) \\ \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{13}) & \frac{1}{2}(\hat{\beta}_{23}) & \hat{\beta}_{33} \end{bmatrix} \text{ dan } b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_3 \end{bmatrix}, \text{ sehingga dengan menggunakan}$$

persamaan (2.9) perhitungan  $X_0$  dalam bentuk *coded* sebagai berikut :

$$X_0 = -\frac{1}{2}B^{-1}b$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 9,997 & -13,277 & 0,019 \\ -13,277 & 5,816 & 4,758 \\ 0,019 & 4,758 & -3,263 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,654 \\ -28,584 \\ -19,746 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0,2656 & -0,2759 & -0,4038 \\ -0,2759 & -0,2082 & -0,3051 \\ -0,4038 & -0,3051 & -0,7537 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,654 \\ -28,584 \\ -19,746 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 15,685 \\ 11,795 \\ 23,341 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = \begin{bmatrix} -7,843 \\ -5,898 \\ -11,671 \end{bmatrix}$$

Untuk mencari *stationary point* ( $X_0$ ) dalam bentuk *uncoded* maka perhitungannya sebagai berikut :

$$X_0 = -\frac{1}{2}B^{-1}b$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 10,146 & -38,053 & 0,001 \\ -38,053 & 43,496 & 0,765 \\ 0,001 & 0,765 & -0,008 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 65,935 \\ -121,291 \\ -2,288 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} -0,502 & -0,161 & -15,850 \\ -0,161 & -0,043 & -4,240 \\ -15,850 & -4,240 & -547,128 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 65,935 \\ -121,291 \\ -2,288 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 22,617 \\ 4,316 \\ 720,780 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = \begin{bmatrix} -11,309 \\ -2,158 \\ -360,390 \end{bmatrix}$$

#### 4.4.8. Menentukan Prediksi Nilai Kuat Tekan Pada *Stationary Point* ( $X_0$ )

Menggunakan persamaan (2.11) didapatkan prediksi nilai kuat tekan dari *stationary point* ( $X_0$ ). Berikut adalah perhitungannya :

$$\hat{y}_0 = \beta_0 + \frac{1}{2}x_0'b$$

$$\hat{y}_0 = 265,406 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -11,309 \\ -2,158 \\ -360,390 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 65,935 \\ -121,291 \\ -2,288 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y}_0 = 265,406 + \frac{1}{2} [-11,309 \quad -2,158 \quad -360,390] \begin{bmatrix} 65,935 \\ -121,291 \\ -2,288 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y}_0 = 435,736$$

Sehingga prediksi nilai kuat tekan pada *stationary point* ( $X_0$ ) adalah 435,736 Kg/Cm<sup>2</sup>.

#### 4.4.9. Analisis Kanonikal

Model bentuk kanonikal ditentukan dari persamaan *second order*. Dengan menggunakan persamaan (2.12), persamaan yang didapatkan sebagai berikut :

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1\omega_1^2 + \lambda_2\omega_2^2 + \lambda_3\omega_3^2$$

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + 10,146\omega_1^2 + 43,496\omega_2^2 - 0,008\omega_3^2$$



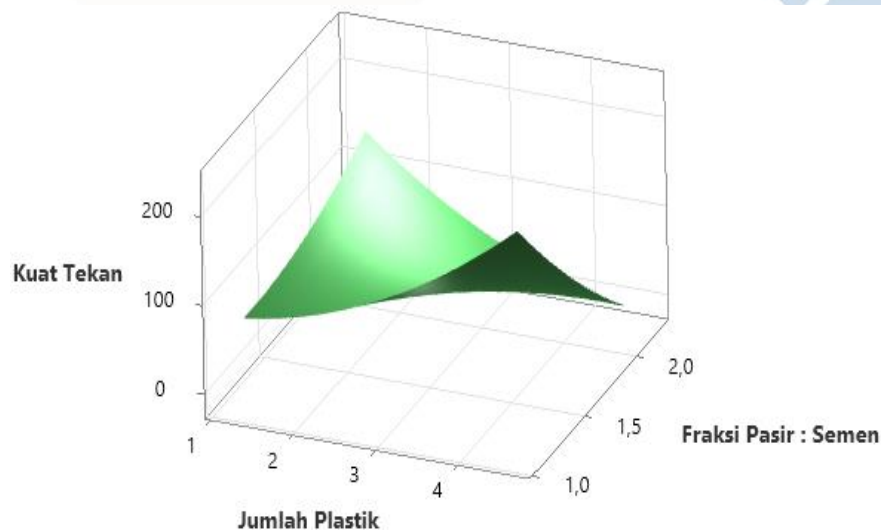
Berdasarkan model bentuk kanonikal menunjukkan bahwa nilai konstanta dari  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , dan  $\lambda_3$  pada persamaan diatas yaitu berbeda tanda sehingga model bentuk kanonikal adalah *saddle point*. Artinya nilai optimal terletak pada titik  $X_0$  (*stationary point*).

#### 4.4.10. Grafik *Surface Plot*

Grafik *surface plot* menggambarkan bentuk permukaan dari hubungan interaksi antar variabel bebas dengan letak titik stasioner yang diperkirakan dapat mengoptimalkan nilai respon kuat tekan. Dengan demikian bentuk permukaan dari hubungan interaksi antar variabel bebas tersebut dapat dilihat pada grafik *surface plot* dibawah ini. Grafik *surface plot* telah divalidasi menggunakan perangkat lunak minitab versi 21.3 (*minitab license*).

##### a) *Surface Plot* Interaksi Fraksi Pasir : Semen dan Jumlah Plastik

*Surface plot* kuat tekan antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik ditunjukkan pada gambar 4.16 dibawah ini.

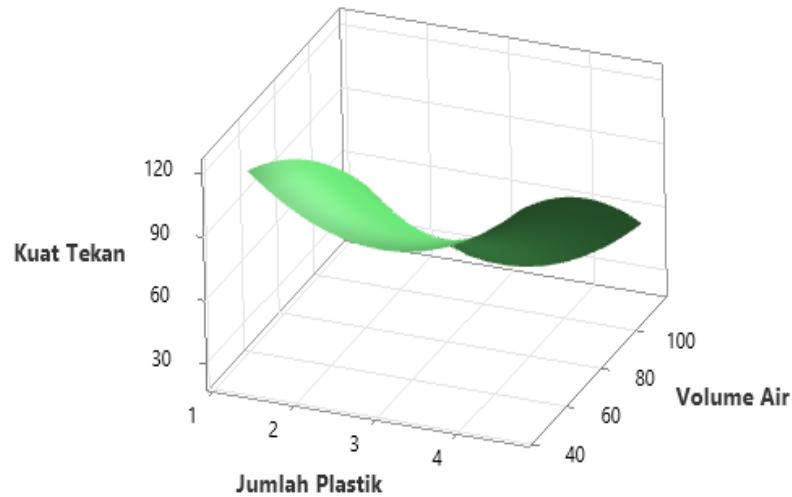


Gambar 4. 16 *Surface plot* kuat tekan antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik

Berdasarkan gambar 4.16 bahwa kurva yang terbentuk yaitu titik minimum dan berdasar pada nilai *stationary point* bahwa titik optimal (*uncoded*) fraksi pasir : semen berada pada -2,158 dan titik optimal (*uncoded*) jumlah plastik pada -11,309.

**b) Surface Plot Interaksi Volume Air dan Jumlah Plastik**

Surface plot kuat tekan antara volume air dan jumlah plastik ditunjukkan pada gambar 4.17 dibawah ini.

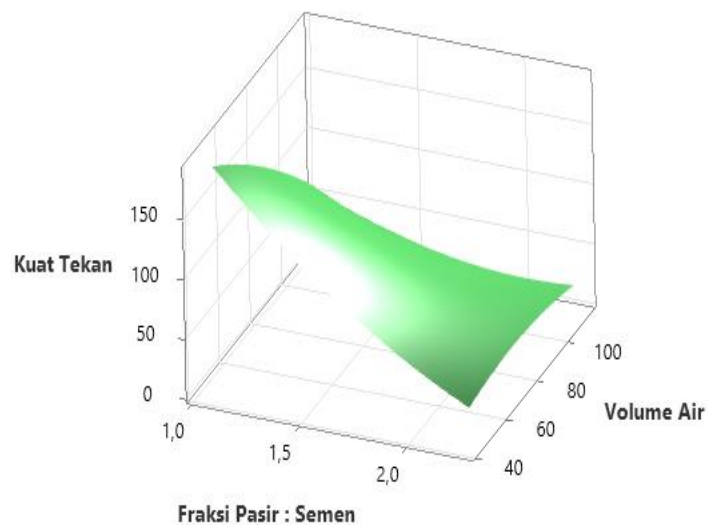


Gambar 4. 17 Surface plot kuat tekan antara volume air dan jumlah plastik

Berdasarkan gambar 4.17 bahwa grafik yang terbentuk yaitu *saddle point* dan berdasar pada nilai *stationary point* maka titik optimal (*uncoded*) volume air yaitu -360,390 dan titik optimal (*uncoded*) jumlah plastik yaitu -11,309.

**c) Surface Plot Interaksi Volume Air dan Fraksi Pasir : Semen**

Surface plot kuat tekan antara volume air dan fraksi pasir : semen ditunjukkan pada gambar 4.18 dibawah ini.



Gambar 4. 18 Surface plot kuat tekan antara volume air dan fraksi pasir : semen

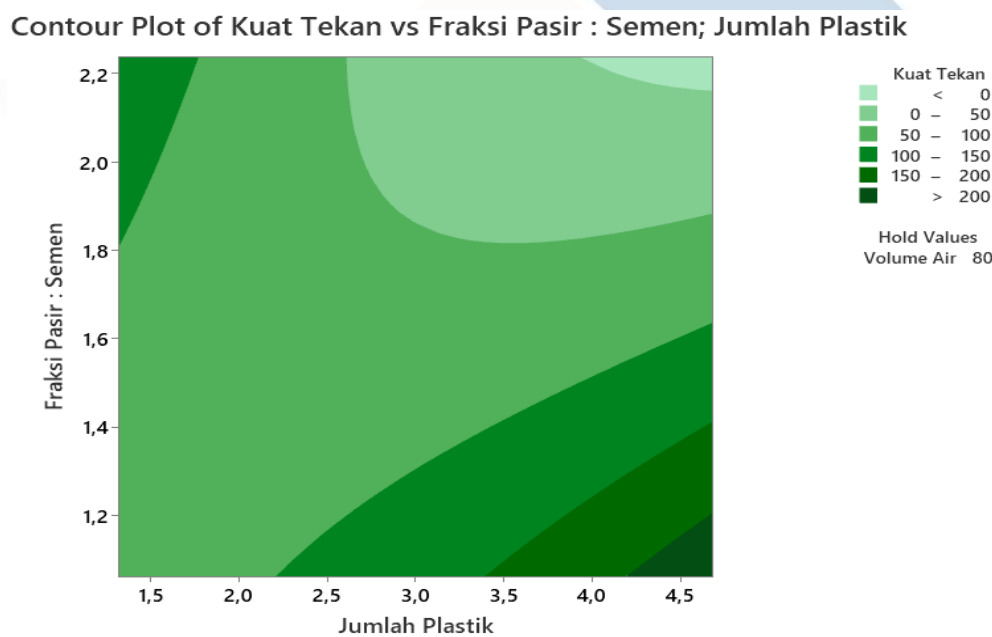
Berdasarkan *surface plot* yang terbentuk yaitu *saddle point* dan berdasar pada nilai *stationary point* bahwa titik optimal (*uncoded*) volume air yaitu -360,390 dan titik optimal (*uncoded*) fraksi pasir : semen yaitu -2,158.

#### 4.4.11. Grafik *Contour Plot*

Grafik *contour plot* telah divalidasi menggunakan perangkat lunak minitab versi 21.3 (minitab *license*).

##### a) *Contour Plot* Interaksi Fraksi Pasir : Semen dan Jumlah Plastik

Grafik *contour plot* kuat tekan antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik ditunjukkan pada gambar 4.19 dibawah ini.

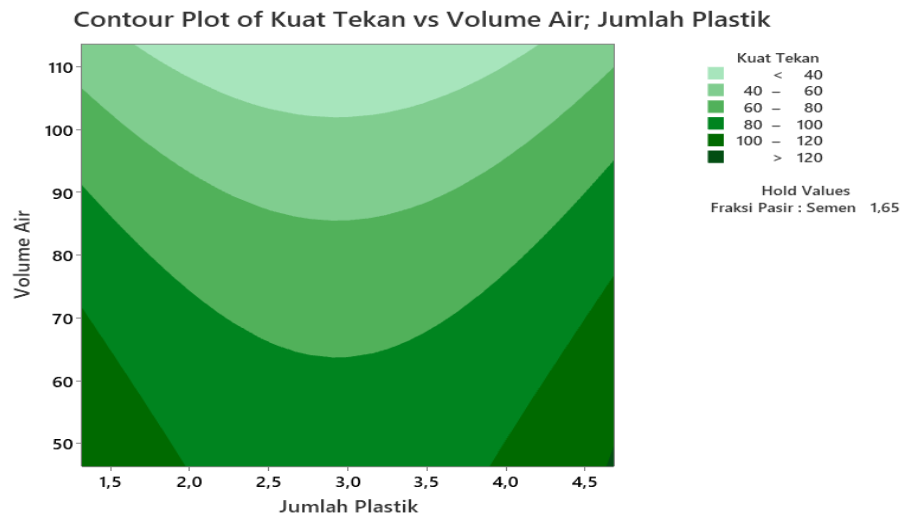


Gambar 4. 19 *Contour plot* kuat tekan antara fraksi pasir : semen dan jumlah plastik

Berdasarkan gambar 4.19 bahwa nilai yang digunakan untuk bata ringan dengan kuat tekan antara  $50 \text{ kg/cm}^2$ – $100 \text{ kg/cm}^2$  adalah jumlah plastik 2,5 gram dan fraksi pasir : semen pada 1,6 gram.

##### b) *Contour Plot* Interaksi Volume Air dan Jumlah Plastik

*Contour plot* kuat tekan antara volume air dan jumlah plastik ditunjukkan pada gambar 4.20 dibawah ini.

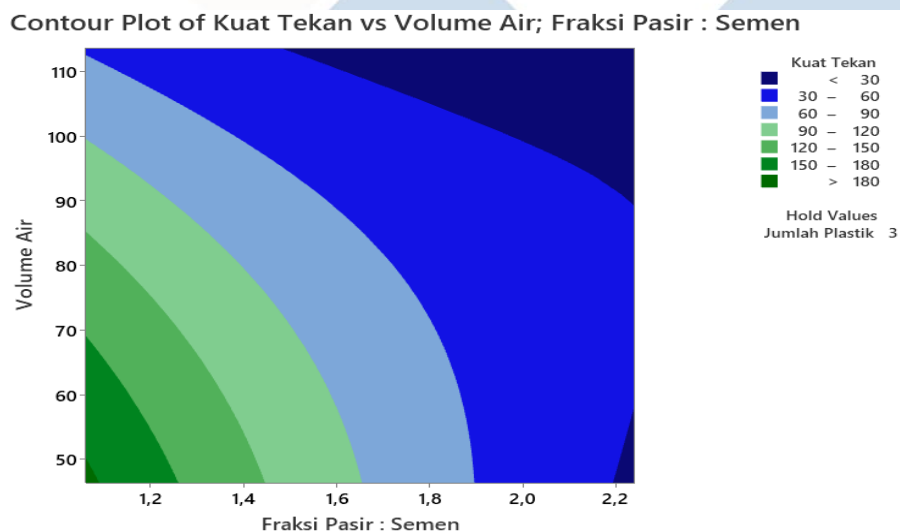


Gambar 4. 20 *Contour plot* kuat tekan antara volume air dan jumlah plastik

Berdasarkan *contour plot* diatas bahwa untuk kuat tekan bata ringan antara  $80 \text{ kg/cm}^2$ - $100 \text{ kg/cm}^2$  maka nilai interaksi variabel bebas yang digunakan yaitu plastik 3,0 gram dan volume air 60 mL.

**c) *Contour Plot* Interaksi Volume Air dan Fraksi Pasir : Semen**

Grafik *contour plot* kuat tekan antara volume air dan fraksi pasir : semen ditunjukkan pada gambar 4.21 dibawah ini.



Gambar 4. 21 *Contour plot* kuat tekan antara volume air dan fraksi pasir : semen

Berdasarkan gambar 4.21 bahwa *contour plot* untuk bata ringan dengan kuat tekan antara  $120 \text{ kg/cm}^2$ - $150 \text{ kg/cm}^2$  maka nilai interaksi variabel bebas yang digunakan adalah fraksi pasir : semen 1,2 gram dan volume air 70 mL.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan terhadap penelitian yang berjudul “Pengaruh Bentuk Penguat Terhadap Kuat Tekan *Cellular Lightweight Concrete*” dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil pengujian bentuk *filler* dengan menarik ujung plastik yang dibenamkan dalam komposit semen bahwa *filler* tanpa lubang ketika ditarik akan terlepas dari komposit semen dikarenakan ikatan mekanik antara *filler* dan matrik komposit sangat lemah. Sedangkan pada *filler* yang terdapat lubang ketika ditarik yang terjadi adalah plastik terputus dimana hal tersebut dikarenakan matrik yang melewati lubang *filler* sehingga *filler* terikat dengan baik dalam matrik dan terjadilah ikatan mekanik antara *filler* plastik dengan matrik komposit.
2. Berdasarkan grafik uji normalitas bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai densitas CLC yaitu fraksi pasir : semen. Selain itu, dari tabel analisis varian juga menunjukkan bahwa fraksi pasir : semen yang memiliki pengaruh signifikan terhadap densitas CLC ditunjukkan dengan nilai  $F_{\text{value}} > F_{\text{tabel}}$ . Permukaan respon densitas yang dihasilkan adalah *saddle point* sehingga nilai optimal berada pada *stationary point* ( $X_0$ ). Titik optimal (*uncoded*) jumlah plastik, fraksi pasir : semen, dan volume air yaitu berada pada 5,181, 2,462 dan 110,852. Dengan nilai optimal yaitu 11,714 gram, 5,52 : 2 dan 3809,06 mL.
3. Berdasarkan grafik uji normalitas terhadap nilai respon kuat tekan bahwa tidak terdapat faktor yang berpengaruh terhadap nilai kuat tekan CLC. Tabel analisis varian juga menunjukkan bahwa nilai  $F_{\text{value}} < F_{\text{tabel}}$  sehingga tidak terdapat faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan CLC. Permukaan respon kuat tekan yaitu *saddle point* sehingga nilai optimal berada pada *stationary point* ( $X_0$ ). Titik optimal (*uncoded*) jumlah plastik adalah -11,309,

titik optimal (*uncoded*) fraksi pasir : semen adalah -2,158 dan titik optimal (*uncoded*) volume air adalah -360,390.

## 5.2. Saran

Saran yang dapat disampaikan oleh penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

- a. Terdapat faktor-faktor lain yang mempengaruhi densitas dan kuat tekan bata ringan sehingga dapat digunakan pada penelitian kedepannya.
- b. Dapat menggunakan variasi komposisi yang berbeda sehingga diketahui variasi komposisi yang mempengaruhi respon.
- c. Ketika proses pencampuran material pastikan semua material tercampur secara merata sehingga hasil pencetakan tidak mengalami kegagalan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdi Akbari Mohsa, Heriansyah Putra, Erizal, (2021), “Studi Pengaruh Agregat Plastik pada Beton dan Dampaknya terhadap Lingkungan”, *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur Abad Ke-21*, Yogyakarta, pp. 89-94.
- Ahmad Firdaus, Arif Tjahjono, Sitti Ahmiatri Saptari, (2018), “Analisis Pengaruh Bentuk *Filler* Pada Komposit Batang Bambu Terhadap Nilai Kekerasan (*Hardness Shore D*)”, *Al-Fiziya Journal of Materials Science Geophysics Instrumentation and Theoretical Physics*, vol. 1, no. 2, pp. 1-6.
- Astrit Kirana, (2018), “Analisis Variasi Komposisi Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate*, Limbah *Polypropylene*, dan Serbuk Kayu Gergaji Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Fisis *Wood Plastic Composite*”, *Tesis*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Deri Arita, Alex Kurniawandy, Hendra Taufik, (2017), “Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah *Foaming Agent*”, *Jurnal JOM FTeknik*, vol. 4, no. 1, pp. 1-10.
- Desi Juliani, Nugraha Edhi Suyatma, Fahim Muchammad Taqi, (2022), “Pengaruh Waktu Pemanasan, Jenis dan Konsentrasi *Plasticizer* Terhadap Karakteristik *Edible Film K-karagenan*”, *Jurnal Keteknikan Pertanian*, vol. 10, no. 1, pp. 29-40.
- Dian Pranata Putra Ambali, Jumiarti Andi Lolo, Israel Padang, (2021), “Tingkat Ketahanan Dinding Bata Berbahan Dasar Limbah Plastik Terhadap Kebakaran”, *Jurnal Teknologi Rekayasa (JTERA)*, vol. 6, no. 1, pp. 147-154.
- Douglas C. Montgomery, (2020), *Design and Analysis of Experiments 10<sup>th</sup> edition*, John Wiley and Sons, New York.
- Imam Mustafa, Reni Suryanita, Harnedi Maizir, (2020), “Analisis Sifat Mekanik Bata Ringan Yang Terpapar Suhu Tinggi”, *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*,

vol. 8, no. 1, pp. 11-17.

Kornelis K. Eban, Sudiyono Utomo, Partogi H. Simatupang, (2018), “Perbandingan Kuat Tekan Bata Ringan CLC Menggunakan Pasir Gunung Boleng dan Pasir Takari”, *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 163-170.

La Ode Musa Rachmat, Sulaiman, Ibrahim, La Ode Ahmad Nur Ramadhan, Laode A. Kadir, (2021), “Batu Bata Ringan Dengan *Filler* Paduan Serat Ijuk Aren dan Sekam Padi Terkarbonasi”, *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol.19, no. 3, pp. 345-350.

M. Rizal Dika Efendi, Reni Suryanita, Harnedi Maizir, (2019), “Analisis Studi Eksperimental Sifat Mekanik Bata Ringan (*Cellular Lightweight Concrete*) Akibat Pembebanan *Displacement Control*”, *Jurnal JOM FTeknik*, vol. 6, no. 1, pp. 1-7.

M. Wihardi Tjaronge, Muhammad Akbar Caronge, Nurhafizah Basir, (2019), “Karakteristik Mortar Berbahan Limbah Plastik *Polypropylene* (PP) dan Abu Sekam Padi”, *Seminar Nasional Tahunan VI*, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, pp. 1-9.

Muhammad Fikri Salim, Dara Erwinda Diastyari, Laurentius Urip Widodo, (2019), “Pemanfaatan *Geothermal Sludge* Untuk Pembuatan Bata Ringan”, *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 13, no. 2, pp. 57–60.

Muhammad Ridho Reksi, Dian Rahayu Jati, Yulisa Fitriyaningsih, (2021), “Perbandingan Kuat Tekan Bata Plastik Berjenis *Polypropylene* (PP), *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *High Density Polyethylene* (HDPE)”, *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 9, no. 1, pp. 19-29.

Mukhammad Khoirul Umam, Lukman Noerochim, Sigit Tri Wicaksono, (2019), “Pengaruh Komposisi *Filler* Limbah Cangkang Kerang dan *Fiberglass* terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Komposit untuk Aplikasi Papan Partikel Semen”, *Jurnal Teknik ITS*, vol. 8, no. 2, pp. 118-123.



- Nuryadi, Tutut Dewi Astuti, Endang Sri Utami, M. Budiantara, (2017), *Dasar-Dasar Statistik Penelitian*, Sibuku Media, Yogyakarta.
- Putri Halimah, Yurida Ekawati, (2020), “Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD. XY Malang”, *JIEMS (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, vol. 13, no. 1, pp. 13-26.
- Reni Suryanita, (2020), *Perilaku Mekanik Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete (CLC) dengan Campuran Silica Fume*, UR Press Pekanbaru, Pekanbaru.
- Sung H. Park, (1996), *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*, Chapman & Hall, London.
- Supriyadi, Kusdiyono, Herry Ludiro Wahyono, Marchus Budi Utomo, Imam Nurhadi, (2020), “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Jenis *Thermosetting* Terhadap Mutu Bata Ringan (Hebel)”, *Wahana Teknik Sipil*, vol. 25, no. 2, pp. 136–147.
- Syahrul, (2020), “Karakteristik Pasir Lokal dan *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Bata Beton”, *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 140–153.
- Untoro Budi Surono, (2013), “Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak”, *Jurnal Teknik*, vol. 3, no. 1, pp. 32–40.
- Yiquan Liu, Bo Siang Leong, Zhong-Ting Hu, En-Hua Yang, (2017), “*Autoclaved Aerated Concrete Incorporating Waste Aluminum Dust as Foaming Agent*”, *Construction and Building Materials*, vol. 148, pp. 140–147.
- Yohanes Gunawa Wibowo, Ahmad Izzuddin, (2021), “Integrasi Pengolahan Sampah Metode 3r Dengan Bank Sampah Di SMA Bima Ambulu”, *Jurnal Pengabdian Masyarakat Manage*, vol. 2, no. 1, pp. 19–23.

## Lampiran 1

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP



#### 1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Maharani Febri Endya  
Tempat & Tanggal Lahir : Sungailiat, 27 Februari 2001  
Alamat Rumah : Jl. Lingga Dusun Timah I, Karya Makmur  
Telp : -  
HP : 083875324313  
Email : [maharanifebri27@gmail.com](mailto:maharanifebri27@gmail.com)  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Agama : Islam

#### 2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 12 Sungailiat	Tahun 2007-2013
SMP Negeri 1 Sungailiat	Tahun 2013-2016
SMA Negeri 1 Pemali	Tahun 2016-2019

Sungailiat, 26 Desember 2022

Maharani Febri Endya

## Lampiran 2. Perhitungan Level Eksperimen

Faktor	Level	
	-1	1
Jumlah Plastik (gram)	2	4
Fraksi Pasir : Semen (gram)	4 : 3	2 : 1
Volume Air (mL)	60	100

a) Jumlah Plastik

$$= \frac{\text{maksimum} - \text{minimum}}{2}$$

$$= \frac{4 - 2}{2}$$

$$= 1$$

Jadi, *center point* = minimum + 1

$$= 2 + 1$$

$$= 3$$

b) Fraksi Pasir : Semen

$$= \frac{\text{maksimum} - \text{minimum}}{2}$$

$$= \frac{2:1 - 4:3}{2}$$

$$= \frac{2 - 1,33}{2}$$

$$= 0,34$$

Jadi, *center point* = minimum + 0,34

$$= 1,33 + 0,34$$

$$= 1,67$$

$$= 3,3 : 2$$

c) Volume Air

$$= \frac{\text{maksimum} - \text{minimum}}{2}$$

$$= \frac{100 - 60}{2}$$

$$= 20$$

Jadi, *center point* = minimum + 20

$$= 60 + 20$$

$$= 80$$

### Lampiran 3. Perhitungan Nilai Variabel Bebas

Untuk menghitung nilai rotabilitas ( $\alpha$ ) menggunakan persamaan (2.6).

$$\begin{aligned}\alpha &= 2^{k/4} \\ &= 2^{3/4} \\ &= 1,682\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai aktual  $\alpha$  dan  $-\alpha$  pada variabel bebas dengan menggunakan persamaan (2.7).

a)  $X_1$  (Jumlah Plastik)

Mencari nilai  $\alpha$  pada  $X_1$

$$\bullet \alpha = \frac{X_1 - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$\alpha = \frac{X_1 - 3}{\frac{1}{2}(4 - 2)}$$

$$\alpha = \frac{X_1 - 3}{\frac{1}{2}(2)}$$

$$1,682 = \frac{X_1 - 3}{1}$$

$$1,682 = X_1 - 3$$

$$X_1 = 4,682$$

• Mencari nilai  $-\alpha$  pada  $X_1$

$$-\alpha = \frac{X_1 - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$-\alpha = \frac{X_1 - 3}{\frac{1}{2}(4 - 2)}$$

$$-\alpha = \frac{X_1 - 3}{\frac{1}{2}(2)}$$

$$-1,682 = \frac{X_1 - 3}{1}$$

$$-1,682 = X_1 - 3$$

$$X_1 = 1,318$$

b)  $X_2$  (Fraksi Pasir : Semen)

- Mencari nilai  $\alpha$  pada  $X_2$

$$\alpha = \frac{X_2 - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$\alpha = \frac{X_2 - 1,65}{\frac{1}{2}(2 - 1,3)}$$

$$\alpha = \frac{X_2 - 1,65}{\frac{1}{2}(0,7)}$$

$$1,682 = \frac{X_2 - 1,65}{0,35}$$

$$1,682 (0,35) = X_2 - 1,65$$

$$0,5887 = X_2 - 1,65$$

$$X_2 = 2,2387$$

$$X_2 = 4,4 : 2$$

- Mencari nilai  $-\alpha$  pada  $X_2$

$$-\alpha = \frac{X_2 - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$-\alpha = \frac{X_2 - 1,65}{\frac{1}{2}(2 - 1,3)}$$

$$-\alpha = \frac{X_2 - 1,65}{\frac{1}{2}(0,7)}$$

$$-1,682 = \frac{X_2 - 1,65}{0,35}$$

$$-1,682 (0,35) = X_2 - 1,65$$

$$-0,5887 = X_2 - 1,65$$

$$X_2 = 1,0613$$

$$X_2 = 4,2 : 4$$

c)  $X_3$  (Volume Air)

- Mencari nilai  $\alpha$  pada  $X_3$

$$\alpha = \frac{X_3 - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$\alpha = \frac{X_3 - 80}{\frac{1}{2}(100 - 60)}$$

$$\alpha = \frac{X_3 - 80}{\frac{1}{2}(40)}$$

$$1,682 = \frac{X_3 - 80}{20}$$

$$1,682 (20) = X_3 - 80$$

$$33,64 = X_3 - 80$$

$$X_3 = 113,64$$

- Mencari nilai  $-\alpha$  pada  $X_3$

$$-\alpha = \frac{X_3 - \text{Center point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$-\alpha = \frac{X_3 - 80}{\frac{1}{2}(100 - 60)}$$

$$-\alpha = \frac{X_3 - 80}{\frac{1}{2}(40)}$$

$$-1,682 = \frac{X_3 - 80}{20}$$

$$-1,682 (20) = X_3 - 80$$

$$-33,64 = X_3 - 80$$

$$X_3 = 46,36$$



## Lampiran 4. Sampel Uji Densitas

### Sampel 1



### Sampel 2



### Sampel 3



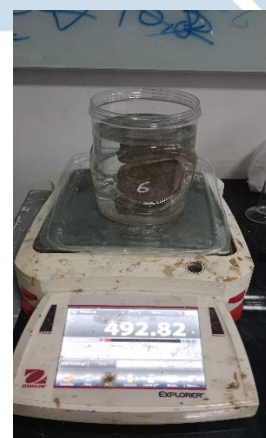
**Sampel 4**



**Sampel 5**



**Sampel 6**





**Sampel 7**



**Sampel 8**



**Sampel 9**



**Sampel 10**



**Sampel 11**



**Sampel 12**



**Sampel 13**



**Sampel 14**



**Sampel 15**



**Sampel 16**



**Sampel 17**



## Lampiran 5. Perhitungan Densitas

Dengan menggunakan rumus densitas dalam persamaan (2.1), maka perhitungannya sebagai berikut :

$$\text{Volume benda uji} = 10 \times 5 \times 5 \text{ cm} = 250 \text{ cm}^3$$

### Sampel 1

$$\rho = \frac{515,65}{250} = 2,0626 \text{ gr/cm}^3 = 2062,6 \text{ kg/m}^3$$

### Sampel 2

$$\rho = \frac{310,62}{250} = 1,24248 \text{ gr/cm}^3 = 1242,48 \text{ kg/m}^3$$

### Sampel 3

$$\rho = \frac{152,39}{250} = 0,60956 \text{ gr/cm}^3 = 609,56 \text{ kg/m}^3$$

### Sampel 4

$$\rho = \frac{260,62}{250} = 1,04248 \text{ gr/cm}^3 = 1042,48 \text{ kg/m}^3$$

### Sampel 5

$$\rho = \frac{568,02}{250} = 2,27208 \text{ gr/cm}^3 = 2272,08 \text{ kg/m}^3$$

### Sampel 6

$$\rho = \frac{493,38}{250} = 1,97352 \text{ gr/cm}^3 = 1973,52 \text{ kg/m}^3$$

### Sampel 7

$$\rho = \frac{156,15}{250} = 0,6246 \text{ gr/cm}^3 = 624,6 \text{ kg/m}^3$$

### Sampel 8

$$\rho = \frac{208,899}{250} = 0,83556 \text{ gr/cm}^3 = 835,56 \text{ kg/m}^3$$

### Sampel 9

$$\rho = \frac{488,48}{250} = 1,95392 \text{ g/cm}^3 = 1953,92 \text{ kg/m}^3$$

### Sampel 10

$$\rho = \frac{465,04}{250} = 1,86016 \text{ gr/cm}^3 = 1860,16 \text{ kg/m}^3$$

**Sampel 11**

$$\rho = \frac{526,75}{250} = 2,107 \text{ gr/cm}^3 = 2107 \text{ kg/m}^3$$

**Sampel 12**

$$\rho = \frac{453,67}{250} = 1,81468 \text{ gr/cm}^3 = 1814,68 \text{ kg/m}^3$$

**Sampel 13**

$$\rho = \frac{480,29}{250} = 1,92116 \text{ gr/cm}^3 = 1921,16 \text{ kg/m}^3$$

**Sampel 14**

$$\rho = \frac{192,21}{250} = 0,76884 \text{ gr/cm}^3 = 768,84 \text{ kg/m}^3$$

**Sampel 15**

$$\rho = \frac{375,68}{250} = 1,50272 \text{ gr/cm}^3 = 1502,72 \text{ kg/m}^3$$

**Sampel 16**

$$\rho = \frac{375,53}{250} = 1,50212 \text{ gr/cm}^3 = 1502,12 \text{ kg/m}^3$$

**Sampel 17**

$$\rho = \frac{203,49}{203,49-68,89} = 1,512 \text{ gr/cm}^3 = 1512 \text{ kg/m}^3$$

**Lampiran 6. Perhitungan Persamaan *Second Order* Densitas di Perangkat Lunak Minitab**

- *Coded*

**Matrix M1**

1	-1,000	-1,000	-1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1	1	1
1	-1,000	-1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1	-1	-1
1	-1,000	1,000	-1,000	1,0000	1,0000	1,0000	-1	1	-1
1	-1,000	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	-1	-1	1
1	1,000	-1,000	-1,000	1,0000	1,0000	1,0000	-1	-1	1
1	1,000	-1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	-1	1	-1
1	1,000	1,000	-1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1	-1	-1
1	1,000	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1	1	1
1	-1,682	0,000	0,000	2,8291	0,0000	0,0000	0	0	0
1	1,682	0,000	0,000	2,8291	0,0000	0,0000	0	0	0
1	0,000	-1,682	0,000	0,0000	2,8291	0,0000	0	0	0
1	0,000	1,682	0,000	0,0000	2,8291	0,0000	0	0	0
1	0,000	0,000	-1,682	0,0000	0,0000	2,8291	0	0	0
1	0,000	0,000	1,682	0,0000	0,0000	2,8291	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0

**Matrix M2**

2062,60
1242,48
609,56
1042,48
2272,08
1973,52
624,60
835,56
1953,92
1860,16
2107,00
1814,68
1921,16
768,84
1502,72
1502,12
1512,00

### Matrix M3

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1	1	1
-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1,6820	1,6820	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	0,0000	0,0000	-1,6820	1,6820	0,0000	0,0000	0	0	0
-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-1,6820	1,6820	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2,8291	2,8291	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,0000	0,0000	2,8291	2,8291	0,0000	0,0000	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,8291	2,8291	0	0	0
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0

### Matrix M4

17,0000	0,0000	0,0000	0,0000	13,6582	13,6582	13,6582	0	0	0
0,0000	13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
0,0000	0,0000	13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
0,0000	0,0000	0,0000	13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	24,0076	8,0000	8,0000	0	0	0
13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	8,0000	24,0076	8,0000	0	0	0
13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	8,0000	8,0000	24,0076	0	0	0
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	8	0	0
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	8	0
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	8

### Matrix M5

0,332041	0,0000000	0,0000000	0,0000000	-0,113355	-0,113355	-0,113355
0,0000000	0,0732158	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,0000000	0,0000000	0,0732158	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0732158	0,0000000	0,0000000	0,0000000
-0,113355	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,088677	0,026207	0,026207
-0,113355	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,026207	0,088677	0,026207
-0,113355	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,026207	0,026207	0,088677
0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,000	0,000	0,000				
0,000	0,000	0,000				
0,000	0,000	0,000				
0,000	0,000	0,000				
0,000	0,000	0,000				
0,000	0,000	0,000				
0,000	0,000	0,000				
0,125	0,000	0,000				
0,000	0,125	0,000				
0,000	0,000	0,125				



### Matrix M6

25605,5  
590,9  
-4930,2  
-2413,0  
21453,3  
21757,7  
18273,2  
-1132,4  
299,6  
1762,6

### Matrix M7

1532,50  
43,27  
-360,97  
-176,67  
48,97  
67,99  
-149,69  
-141,55  
37,45  
220,32



- *Uncoded*

**Matrix M1**

1	2,000	1,333	60,00	4,0000	1,77689	3600,0	2,6660	120,00	79,980
1	2,000	1,333	100,00	4,0000	1,77689	10000,0	2,6660	200,00	133,300
1	2,000	2,000	60,00	4,0000	4,00000	3600,0	4,0000	120,00	120,000
1	2,000	2,000	100,00	4,0000	4,00000	10000,0	4,0000	200,00	200,000
1	4,000	1,333	60,00	16,0000	1,77689	3600,0	5,3320	240,00	79,980
1	4,000	1,333	100,00	16,0000	1,77689	10000,0	5,3320	400,00	133,300
1	4,000	2,000	60,00	16,0000	4,00000	3600,0	8,0000	240,00	120,000
1	4,000	2,000	100,00	16,0000	4,00000	10000,0	8,0000	400,00	200,000
1	1,318	1,650	80,00	1,7371	2,72250	6400,0	2,1747	105,44	132,000
1	4,682	1,650	80,00	21,9211	2,72250	6400,0	7,7253	374,56	132,000
1	3,000	1,061	80,00	9,0000	1,12572	6400,0	3,1830	240,00	84,880
1	3,000	2,239	80,00	9,0000	5,01312	6400,0	6,7170	240,00	179,120
1	3,000	1,650	46,36	9,0000	2,72250	2149,2	4,9500	139,08	76,494
1	3,000	1,650	113,64	9,0000	2,72250	12914,0	4,9500	340,92	187,506
1	3,000	1,650	80,00	9,0000	2,72250	6400,0	4,9500	240,00	132,000
1	3,000	1,650	80,00	9,0000	2,72250	6400,0	4,9500	240,00	132,000
1	3,000	1,650	80,00	9,0000	2,72250	6400,0	4,9500	240,00	132,000

**Matrix M2**

2062,60
1242,48
609,56
1042,48
2272,08
1973,52
624,60
835,56
1953,92
1860,16
2107,00
1814,68
1921,16
768,84
1502,72
1502,12
1512,00

### Matrix M3

1,00	1,0	1	1	1,00	1,0	1	1	1,00	1,00	1,00
2,00	2,0	2	2	4,00	4,0	4	4	1,32	4,68	3,00
1,33	1,3	2	2	1,33	1,3	2	2	1,65	1,65	1,06
60,00	100,0	60	100	60,00	100,0	60	100	80,00	80,00	80,00
4,00	4,0	4	4	16,00	16,0	16	16	1,74	21,92	9,00
1,78	1,8	4	4	1,78	1,8	4	4	2,72	2,72	1,13
3600,00	10000,0	3600	10000	3600,00	10000,0	3600	10000	6400,00	6400,00	6400,00
2,67	2,7	4	4	5,33	5,3	8	8	2,17	7,73	3,18
120,00	200,0	120	200	240,00	400,0	240	400	105,44	374,56	240,00
79,98	133,3	120	200	79,98	133,3	120	200	132,00	132,00	84,88
1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			
3,00	3,00	3,0	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00			
2,24	1,65	1,6	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65			
80,00	46,36	113,6	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00			
9,00	9,00	9,0	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00			
5,01	2,72	2,7	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72			
6400,00	2149,25	12914,0	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00			
6,72	4,95	5,0	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95			
240,00	139,08	340,9	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00			
179,12	76,49	187,5	132,00	132,00	132,00	132,00	132,00			

### Matrix M4

17	51	28	1360	167	48	114263	85	4080	2255
51	167	85	4080	582	145	342790	276	13333	6764
28	85	48	2255	276	85	189432	145	6764	3864
1360	4080	2255	114263	13333	3864	10015192	6764	342790	189432
167	582	276	13333	2139	473	1118982	965	46554	22104
48	145	85	3864	473	155	324550	256	11593	6827
114263	342790	189432	10015192	1118982	324550	909951951	568296	30045575	16605322
85	276	145	6764	965	256	568296	473	22104	11593
4080	13333	6764	342790	46554	11593	30045575	22104	1118982	568296
2255	6764	3864	189432	22104	6827	16605322	11593	568296	324550

### Matrix M5

205,078	-26,1398	-119,888	-1,74257	1,77375	21,7445	0,0055276
-26,140	8,3981	10,237	0,14056	-0,53871	-1,3961	-0,0004097
-119,888	10,2369	96,186	0,68246	-0,77446	-20,3193	-0,0019361
-1,743	0,1406	0,682	0,02509	-0,01093	-0,0931	-0,0000898
1,774	-0,5387	-0,774	-0,01093	0,08979	0,2327	0,0000683
21,745	-1,3961	-20,319	-0,09308	0,23269	6,1179	0,0005817
0,006	-0,0004	-0,002	-0,00009	0,00007	0,0006	0,0000006
5,590	-1,8634	-3,368	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000000
0,075	-0,0250	-0,000	-0,00094	0,00000	0,0000	0,0000000
0,373	-0,0000	-0,225	-0,00466	0,00000	0,0000	0,0000000

5,59010	0,0750000	0,372673
-1,86337	-0,0250000	-0,000000
-3,36821	0,0000000	-0,224547
-0,00000	-0,0009375	-0,004658
0,00000	0,0000000	0,000000
0,00000	-0,0000000	0,000000
0,00000	0,0000000	0,000000
1,12274	-0,0000000	0,000000
-0,00000	0,0003125	0,000000
0,00000	-0,0000000	0,002807

#### Matrix M6

25605  
77407  
40773  
2000178  
255448  
67339  
163462754  
122927  
6053802  
3193776

#### Matrix M7

6462,32  
264,34  
-4419,17  
-12,56  
53,41  
573,43  
-0,36  
-416,55  
1,87  
33,87



## Lampiran 7. Sampel Uji Kuat Tekan



**Sampel 1**



Sebelum



Sesudah

**Sampel 2**



Sebelum



Sesudah

### Sampel 3



Sebelum



Sesudah

### Sampel 4



Sebelum



Sesudah

### Sampel 5



Sebelum



Sesudah

### Sampel 6



Sebelum



Sesudah

### Sampel 7



Sebelum



Sesudah

### Sampel 8



Sebelum



Sesudah

### Sampel 9



Sebelum



Sesudah

### Sampel 10



Sebelum



Sesudah

### Sampel 11



Sebelum



Sesudah



**Sampel 12**



Sebelum



Sesudah

**Sampel 13**



Sebelum



Sesudah

**Sampel 14**



Sebelum



Sesudah

**Sampel 15**



Sebelum



Sesudah

**Sampel 16**



Sebelum



Sesudah

**Sampel 17**



Sebelum



Sesudah

## **Lampiran 8. Perhitungan Kuat Tekan**

Perhitungan yang dilakukan yaitu dengan mengubah satuan MPa ke  $\text{kg/cm}^2$

$$1 \text{ MPa} = 10,197 \text{ kg/cm}^2$$

### **Sampel 1**

$$f_c = 8,17 \text{ MPa} = 83,309 \text{ kg/cm}^2$$

### **Sampel 2**

$$f_c = 5,07 \text{ MPa} = 51,699 \text{ kg/cm}^2$$

### **Sampel 3**

$$f_c = 0,742 \text{ MPa} = 7,566 \text{ kg/cm}^2$$

### **Sampel 4**

$$f_c = 1,66 \text{ MPa} = 16,927 \text{ kg/cm}^2$$

### **Sampel 5**

$$f_c = 17,9 \text{ MPa} = 182,526 \text{ kg/cm}^2$$

### **Sampel 6**

$$f_c = 15,1 \text{ MPa} = 153,975 \text{ kg/cm}^2$$

### **Sampel 7**

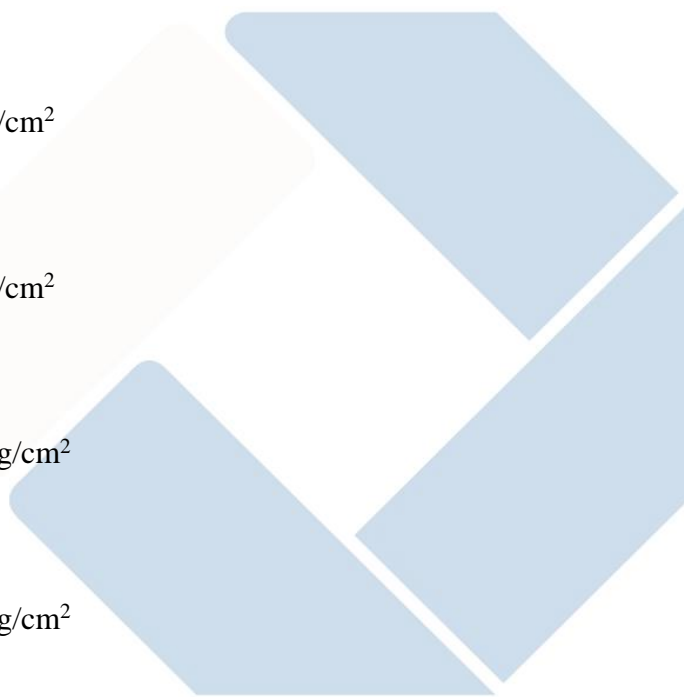
$$f_c = 0,341 \text{ MPa} = 3,477 \text{ kg/cm}^2$$

### **Sampel 8**

$$f_c = 0,989 \text{ MPa} = 10,085 \text{ kg/cm}^2$$

### **Sampel 9**

$$f_c = 16,3 \text{ MPa} = 166,211 \text{ kg/cm}^2$$



**Sampel 10**

$$f_c = 5,71 \text{ MPa} = 58,225 \text{ kg/cm}^2$$

**Sampel 11**

$$f_c = 8,59 \text{ MPa} = 87,592 \text{ kg/cm}^2$$

**Sampel 12**

$$f_c = 11,1 \text{ MPa} = 113,187 \text{ kg/cm}^2$$

**Sampel 13**

$$f_c = 13,9 \text{ MPa} = 141,738 \text{ kg/cm}^2$$

**Sampel 14**

$$f_c = 0,752 \text{ MPa} = 7,668 \text{ kg/cm}^2$$

**Sampel 15**

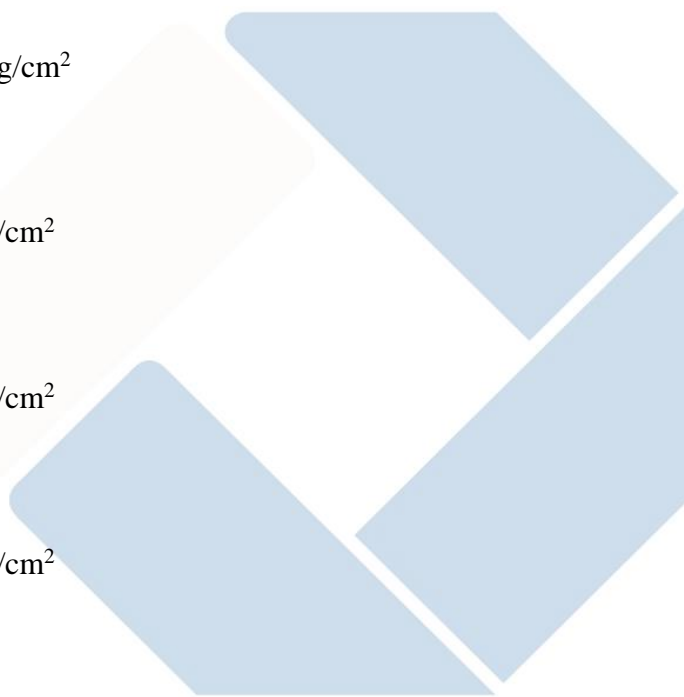
$$f_c = 6,14 \text{ MPa} = 62,610 \text{ kg/cm}^2$$

**Sampel 16**

$$f_c = 4,89 \text{ MPa} = 49,863 \text{ kg/cm}^2$$

**Sampel 17**

$$f_c = 7,37 \text{ MPa} = 75,152 \text{ kg/cm}^2$$



**Lampiran 9. Perhitungan Persamaan *Second Order* Kuat Tekan di Perangkat Lunak Minitab**

- *Coded*

**Matrix M1**

1	-1,000	-1,000	-1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1	1	1
1	-1,000	-1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1	-1	-1
1	-1,000	1,000	-1,000	1,0000	1,0000	1,0000	-1	1	-1
1	-1,000	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	-1	-1	1
1	1,000	-1,000	-1,000	1,0000	1,0000	1,0000	-1	-1	1
1	1,000	-1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	-1	1	-1
1	1,000	1,000	-1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1	-1	-1
1	1,000	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1	1	1
1	-1,682	0,000	0,000	2,8291	0,0000	0,0000	0	0	0
1	1,682	0,000	0,000	2,8291	0,0000	0,0000	0	0	0
1	0,000	-1,682	0,000	0,0000	2,8291	0,0000	0	0	0
1	0,000	1,682	0,000	0,0000	2,8291	0,0000	0	0	0
1	0,000	0,000	-1,682	0,0000	0,0000	2,8291	0	0	0
1	0,000	0,000	1,682	0,0000	0,0000	2,8291	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0

**Matrix M2**

83,309  
 51,699  
 7,566  
 16,927  
 182,526  
 153,975  
 3,477  
 10,085  
 166,211  
 58,225  
 87,592  
 113,187  
 141,738  
 7,668  
 62,610  
 49,863  
 75,152

### Matrix M3

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1	1	1
-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1,6820	1,6820	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	0,0000	0,0000	-1,6820	1,6820	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-1,6820	1,6820	0,0000	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2,8291	2,8291	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,0000	0,0000	2,8291	2,8291	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,8291	2,8291	0,0000	0	0	0
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0

### Matrix M4

17,0000	0,0000	0,0000	0,0000	13,6582	13,6582	13,6582	0	0	0
0,0000	13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
0,0000	0,0000	13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
0,0000	0,0000	0,0000	13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0
13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	24,0076	8,0000	8,0000	0	0	0
13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	8,0000	24,0076	8,0000	0	0	0
13,6582	0,0000	0,0000	0,0000	8,0000	8,0000	24,0076	0	0	0
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	8	0	0
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	8	0
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	8

### Matrix M5

0,332041	0,0000000	0,0000000	0,0000000	-0,113355	-0,113355	-0,113355
0,0000000	0,0732158	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,0000000	0,0000000	0,0732158	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0732158	0,0000000	0,0000000	0,0000000
-0,113355	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,088677	0,026207	0,026207
-0,113355	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,026207	0,088677	0,026207
-0,113355	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,026207	0,026207	0,088677
0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000

0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,125	0,000	0,000
0,000	0,125	0,000
0,000	0,000	0,125

### Matrix M6

1271,81  
8,93  
-390,40  
-269,70  
1144,52  
1077,59  
932,25  
-212,42  
0,31  
76,13

### Matrix M7

64,7298  
0,6538  
-28,5837  
-19,7461  
9,9969  
5,8159  
-3,2635  
-26,5530  
0,0382  
9,5163



- *Uncoded*

**Matrix M1**

1	2,000	1,333	60,00	4,0000	1,77689	3600,0	2,6660	120,00	79,980
1	2,000	1,333	100,00	4,0000	1,77689	10000,0	2,6660	200,00	133,300
1	2,000	2,000	60,00	4,0000	4,00000	3600,0	4,0000	120,00	120,000
1	2,000	2,000	100,00	4,0000	4,00000	10000,0	4,0000	200,00	200,000
1	4,000	1,333	60,00	16,0000	1,77689	3600,0	5,3320	240,00	79,980
1	4,000	1,333	100,00	16,0000	1,77689	10000,0	5,3320	400,00	133,300
1	4,000	2,000	60,00	16,0000	4,00000	3600,0	8,0000	240,00	120,000
1	4,000	2,000	100,00	16,0000	4,00000	10000,0	8,0000	400,00	200,000
1	1,318	1,650	80,00	1,7371	2,72250	6400,0	2,1747	105,44	132,000
1	4,682	1,650	80,00	21,9211	2,72250	6400,0	7,7253	374,56	132,000
1	3,000	1,061	80,00	9,0000	1,12572	6400,0	3,1830	240,00	84,880
1	3,000	2,239	80,00	9,0000	5,01312	6400,0	6,7170	240,00	179,120
1	3,000	1,650	46,36	9,0000	2,72250	2149,2	4,9500	139,08	76,494
1	3,000	1,650	113,64	9,0000	2,72250	12914,0	4,9500	340,92	187,506
1	3,000	1,650	80,00	9,0000	2,72250	6400,0	4,9500	240,00	132,000
1	3,000	1,650	80,00	9,0000	2,72250	6400,0	4,9500	240,00	132,000
1	3,000	1,650	80,00	9,0000	2,72250	6400,0	4,9500	240,00	132,000

**Matrix M2**

83,309
51,699
7,566
16,927
182,526
153,975
3,477
10,085
166,211
58,225
87,592
113,187
141,738
7,668
62,610
49,863
75,152



**Matrix M3**

1,00	1,0	1	1	1,00	1,0	1	1	1,00	1,00	1,00
2,00	2,0	2	2	4,00	4,0	4	4	1,32	4,68	3,00
1,33	1,3	2	2	1,33	1,3	2	2	1,65	1,65	1,06
60,00	100,0	60	100	60,00	100,0	60	100	80,00	80,00	80,00
4,00	4,0	4	4	16,00	16,0	16	16	1,74	21,92	9,00
1,78	1,8	4	4	1,78	1,8	4	4	2,72	2,72	1,13
3600,00	10000,0	3600	10000	3600,00	10000,0	3600	10000	6400,00	6400,00	6400,00
2,67	2,7	4	4	5,33	5,3	8	8	2,17	7,73	3,18
120,00	200,0	120	200	240,00	400,0	240	400	105,44	374,56	240,00
79,98	133,3	120	200	79,98	133,3	120	200	132,00	132,00	84,88

1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00
3,00	3,00	3,0	3,00	3,00	3,00
2,24	1,65	1,6	1,65	1,65	1,65
80,00	46,36	113,6	80,00	80,00	80,00
9,00	9,00	9,0	9,00	9,00	9,00
5,01	2,72	2,7	2,72	2,72	2,72
6400,00	2149,25	12914,0	6400,00	6400,00	6400,00
6,72	4,95	5,0	4,95	4,95	4,95
240,00	139,08	340,9	240,00	240,00	240,00
179,12	76,49	187,5	132,00	132,00	132,00

**Matrix M4**

17	51	28	1360	167	48	114263	85	4080	2255
51	167	85	4080	582	145	342790	276	13333	6764
28	85	48	2255	276	85	189432	145	6764	3864
1360	4080	2255	114263	13333	3864	10015192	6764	342790	189432
167	582	276	13333	2139	473	1118982	965	46554	22104
48	145	85	3864	473	155	324550	256	11593	6827
114263	342790	189432	10015192	1118982	324550	909951951	568296	30045575	16605322
85	276	145	6764	965	256	568296	473	22104	11593
4080	13333	6764	342790	46554	11593	30045575	22104	1118982	568296
2255	6764	3864	189432	22104	6827	16605322	11593	568296	324550

**Matrix M5**

205,078	-26,1398	-119,888	-1,74257	1,77375	21,7445	0,0055276
-26,140	8,3981	10,237	0,14056	-0,53871	-1,3961	-0,0004097
-119,888	10,2369	96,186	0,68246	-0,77446	-20,3193	-0,0019361
-1,743	0,1406	0,682	0,02509	-0,01093	-0,0931	-0,0000898
1,774	-0,5387	-0,774	-0,01093	0,08979	0,2327	0,0000683
21,745	-1,3961	-20,319	-0,09308	0,23269	6,1179	0,0005817
0,006	-0,0004	-0,002	-0,00009	0,00007	0,0006	0,0000006
5,590	-1,8634	-3,368	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000000
0,075	-0,0250	-0,000	-0,00094	0,00000	0,0000	0,0000000
0,373	-0,0000	-0,225	-0,00466	0,00000	0,0000	0,0000000

5,59010	0,0750000	0,372673
-1,86337	-0,0250000	-0,000000
-3,36821	0,0000000	-0,224547
-0,00000	-0,0009375	-0,004658
0,00000	0,0000000	0,000000
0,00000	-0,0000000	0,000000
0,00000	0,0000000	0,000000
1,12274	-0,0000000	0,000000
-0,00000	0,0003125	0,000000
0,00000	-0,0000000	0,002807

### Matrix M6

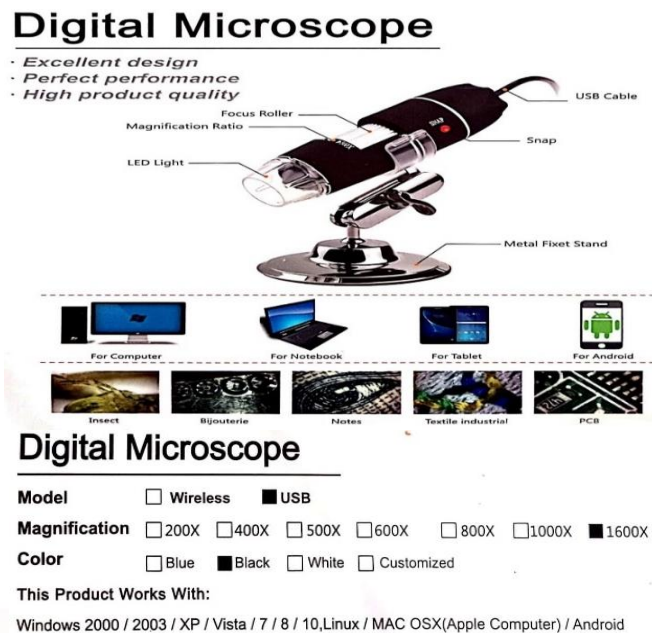
1272  
3824  
1977  
96351  
12644  
3185  
7649452  
5879  
289773  
149786

### Matrix M7

265,406  
65,935  
-121,291  
-2,288  
10,146  
43,496  
-0,008  
-76,105  
0,002  
1,531



## Lampiran 10. Spesifikasi Mikroskop Digital



<b>Spesifikasi</b>	
<b>Zoom</b>	1-1600×
<b>Adaptor Support</b>	USB, Micro USB, Type C
<b>Light Source 8 LED (adjustable by control wheel)</b>	
<b>Fixed Base</b>	Metal bracket
<b>Viewable Area</b>	0.5 × 0.6 mm
<b>Lens distance objects surface 3-4 mm range</b>	
<b>Weight</b>	245 g
<b>System Support</b>	Win 2000 / 2003 / XP / Win7 / Win8 / Win10
<b>Resolution</b>	JPEG 1600×1200 (2m), 1280×1024 (1.3m), 960, 1024×768, 800×600, 640×480, 352×288, 320×240, 160×120
<b>Apps</b>	CameraFi / USB Camera

# skripsi maharani

---

## ORIGINALITY REPORT

---

3%

SIMILARITY INDEX

3%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

---

## PRIMARY SOURCES

---

1

[ft.unri.ac.id](http://ft.unri.ac.id)

Internet Source

1%

2

[repository.polman-babel.ac.id](http://repository.polman-babel.ac.id)

Internet Source

1%

3

[edoc.site](http://edoc.site)

Internet Source

1%




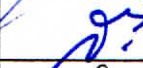
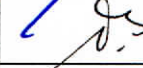






---

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On


FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

	FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2022/2023		
JUDUL	Pengaruh Bentuk Penguat Terhadap Kuat Tarik Cellular Lightweight Concrete.		
Nama Mahasiswa	Maharani Febri Endya NIRM: 1091917		
Nama Pembimbing	1. <u>Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T</u> 2. <u>Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	11. Mei 22	Rancangan foam gun	
2	07. Juni 22	Rancangan box sampel	
3	22. Juni 22	- Bentuk filler of sample	
4	30.06.22	Alat uji untuk sample	
5	15/07/22	R. masalah + tujuan dan kesimpulan & point = sama	
6	29/08/22	Variasi komposisi sample	
7	16/09/22	Pencetakan sample	
8	24/11/22	Diskusi data hasil uji densitas.	
9	28/11/22	Pengolahan data	
10	29/11/22	Pengolahan data	

Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir


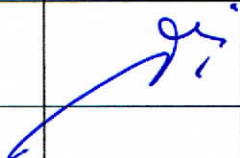
FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

		FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2022 / 2023	
JUDUL	Pengaruh Bentuk Penguat Terhadap Kuat Tarik Cellular Lightweight Concrete.		
Nama Mahasiswa	Maharani Febri Endya NIRM: 1041917		
Nama Pembimbing	1. <u>Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T.</u> 2. <u>Dr. Sukanto, S.S.T., M. Eng.</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	30/11 <sup>22</sup>	Analisis data	<i>gs</i>
2	5/12 <sup>22</sup>	Revisi jurnal.	<i>gs</i>
3	14/12 <sup>22</sup>	Pembahasan jurnal dan Bab 4.	<i>gs</i>
4	20/12 <sup>22</sup>	Pembahasan Bab 1 - Bab 5	<i>sk</i>
5	26/12 <sup>22</sup>	Revisi laporan Tugas Akhir dan cek Plagiarism	<i>sk</i>
6			
7			
8			
9			
10			

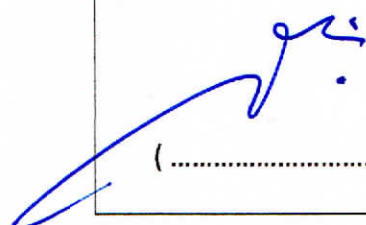

Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir


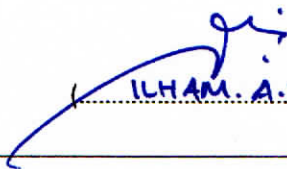

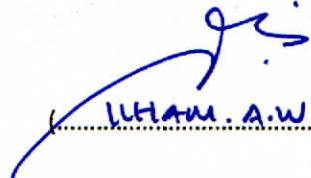
FORM-PPR-3- 6: Form Monitoring Proyek Akhir

		<p>FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK <u>2022 / 2023</u></p>	
JUDUL		<p>Pengaruh Bentuk Penguat Terhadap Kuat Tarik Cellular Lightweight Concrete.</p>	
Nama Mahasiswa		<p>1. <u>Maharani Febri Endy</u> /NIRM: <u>1041917</u>                  2. .... /NIRM: .....                  3. .... /NIRM: .....                  4. .... /NIRM: .....                  5. .... /NIRM: .....</p>	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
3	28 / 12 2022	Selesai 100 %.	

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / ~~BELUM~~ (coret salah satu)


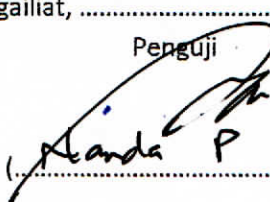
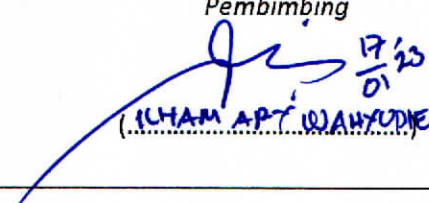
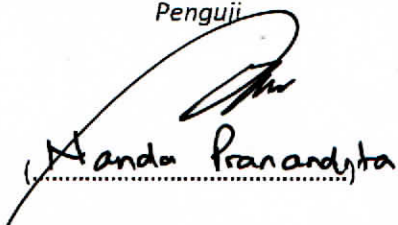
Mengetahui		
Pembimbing 1	Pembimbing 2	Pembimbing 3
 (.....)	 ( <u>Sukanto</u> )	(.....)

FORM-PPR-3- 8: Form Revisi Laporan Akhir


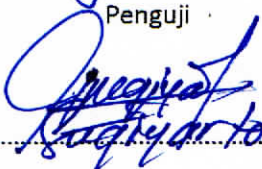
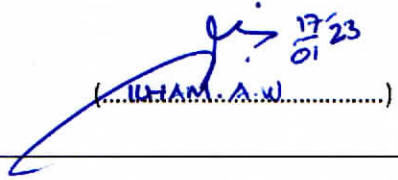
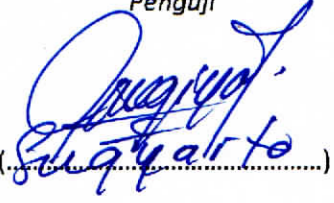
	<p>FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK ...../...../.....</p>
<p>JUDUL : <u>Pengaruh bentuk penguat terhadap kuat tarik</u> <u>CLC</u></p>	
<p>Nama Mahasiswa :</p>	<p>1. <u>Maharani Febri Endya</u> NIM: <u>1041917</u>                  2. _____ NIM: _____                  3. _____ NIM: _____                  4. _____ NIM: _____                  5. _____ NIM: _____</p>
<p>Bagian yang direvisi</p>	<p>Halaman</p>
<p>- Cara penulisan referensi diperbaiki.                  - <u>kuat tarik → jadi kuat tekan</u></p>	
	<p>Sunggailiat, <u>3-Jan-2023</u>.....                  Penguji                    (.....<u>ILHAM.A.W</u>.....)</p>
<p>Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa</p>	
<p>Mengetahui, Pembimbing                    (.....<u>ILHAM.A.W</u>.....)</p>	<p>Sunggailiat, <u>3 Jan 2023</u>.....                  Penguji                    (.....<u>ILHAM.A.W</u>.....)</p>



FORM-PPR-3- 8: Form Revisi Laporan Akhir

	<p>FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK <u>2022 / 2023</u></p>																				
JUDUL :	<u>Pengaruh Bentuk Penguat Tld Kuat Tarik Cellular Light weight Concrete</u>																				
Nama Mahasiswa :	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;">1.</td> <td style="width: 60%;"><u>Maharani Febri E</u></td> <td style="width: 10%;">NIM:</td> <td style="width: 25%;"><u>1041917</u></td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td>_____</td> <td>NIM:</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td>_____</td> <td>NIM:</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td>_____</td> <td>NIM:</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td>_____</td> <td>NIM:</td> <td>_____</td> </tr> </table>	1.	<u>Maharani Febri E</u>	NIM:	<u>1041917</u>	2.	_____	NIM:	_____	3.	_____	NIM:	_____	4.	_____	NIM:	_____	5.	_____	NIM:	_____
1.	<u>Maharani Febri E</u>	NIM:	<u>1041917</u>																		
2.	_____	NIM:	_____																		
3.	_____	NIM:	_____																		
4.	_____	NIM:	_____																		
5.	_____	NIM:	_____																		
Bagian yang direvisi		Halaman																			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Penulisan Referensi (Daftar Pustaka) ✓</u> <u>Sesuai km dg Panduan Teknik Penulisan Referensi Polmanbabel</u></li> <li>• <u>Rapikan penulisan ✓</u></li> <li>• <u>Diagram Alir Penelitian ✓</u></li> </ul>		21																			
Sungailiat, .....																					
Penguji  (.....)																					
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa																					
Mengetahui, Pembimbing  (.....)	Sungailiat, <u>10-1-2023</u> Penguji  (.....)																				

FORM-PPR-3- 8: Form Revisi Laporan Akhir

	FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK <u>2022 / 2023</u>	
JUDUL :	Pengaruh Bentuk Penguat Terhadap Kuat Tarik Cellular lightweight Concrete	
Nama Mahasiswa :	1. <u>Maharani Febri Endya</u> 2. _____ 3. _____ 4. _____ 5. _____	NIM: <u>1048917</u> NIM: _____ NIM: _____ NIM: _____ NIM: _____
#	Bagian yang direvisi	Halaman
	- Judul diubah	
	- Hampiran perhitungan	
Sungailiat, <u>3 Januari 2023</u>		
Penguji		
 (.....)		
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa		
Mengetahui, Pembimbing	Sungailiat, <u>3 Januari 2023</u>	
 (.....)	Penguji  (.....)	



Beranda / Pengguna / Penulis / Penyerahan Aktif

Serahkan Proposal

### Penyerahan Aktif

... MENU UTAMA ...

Aktif | Arsip

- » Tim Editorial
- » Reviewer
- » Process Review
- » Ruang Lingkup
- » Indeksasi
- Panduan Penulis
  - » Etika Publikasi
  - » Registrasi Online
  - » Pernyataan Akses Terbuka
  - » Kebijaksanaan Plagiasi
- Kebijaksanaan Arsip
- Hak Cipta dan Lisensi
- Panduan Submit
- » Hubungi Kami

ID	MM-DD Pengajuan	Bagian Penulis	Judul	Status
5474	12-07	Endya, Wahyudie, Sukanto	Pengaruh Bentuk Penguat Terhadap Densitas Cellular...	Dalam proses pengeditan

1 - 1 of 1 Item

### Memulai Penyerahan Naskah Baru

[Klik Disini](#) Masuk ke langkah pertama dari lima langkah proses penyerahan naskah.

### Refbacs

Semua | Baru | ##plugins.generic.referral.status.accepted##  
##plugins.generic.referral.status.declined##

Data Ditambah	Hits	URL	Artikel	Judul	Status	Aksi
---------------	------	-----	---------	-------	--------	------

Saat ini tidak ada refbacs.

[Terk](#) [Diabaikan](#) [Hapus](#) [Pilih semua](#)

ISSN ONLINE



TEMPLATE

