

**OPTIMASI PROSES PRODUKSI BATA RINGAN DENGAN
RESPONSE SURFACE METHODE**

PROYEK AKHIR

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



Disusun Oleh :

SAHRIL MASHURI IHSAN NIRM : 1041826

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2021/2022**

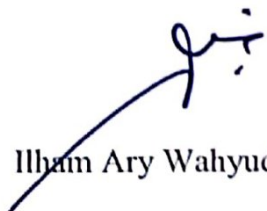
LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMASI PROSES PRODUKSI BATA RINGAN DENGAN
RESPON SURFACE METHODE**

SAHRIL MASHURI IHSAN NIRM : 1041826


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

Pembimbing 1




Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T

Pembimbing 2




Boy Rollastin, S.Tr., M.T

Penguji 1



Muhammad Subhan, S.S.T., M.T

Penguji 2



Eko Yudo, S.S.T., M.T

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Sahril Mashuri Ihsan NIRM: 1041826

Dengan Judul : Optimasi Proses Produksi Bata Ringan Dengan Response Surface Methode.

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 in, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 28 Januari 2022

Penulis



Sahril Mashuri Ihsan

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk yang pesat menyebabkan penyediaan bahan bangunan yang berkualitas juga mengalami kenaikan permintaan. Oleh karena itu, perlu adanya kajian yang lebih mendalam. Proyek akhir ini bertujuan untuk mencari komposisi terbaik dari bahan penyusun bata ringan yaitu persentase sekam padi dan foam agent menggunakan (RSM) response surface methode. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai optimum persentase penambahan sekam padi dan foam agent pada proses produksi bata ringan dengan respon daya serap air nilainya sebesar 7,18 % faktor sekam padi dan 0,93 % faktor foam agent. sedangkan dengan respon kuat tekan diperoleh nilai optimum sebesar 7,05 % faktor sekam padi dan 1,24 % faktor foam agent. Dalam penelitian ini juga merekomendasikan persamaan umum untuk memprediksi daya serap air bata ringan apabila menggunakan kedua komposisi bahan tersebut, yaitu : $Y = 6,4 + 0,654 X_1 - 0,331 X_2 + 1,092 x_1^2 + 0,679 x_2^2 + 0,22 X_1X_2$ sedangkan untuk memprediksi kuat tekan bata ringan menggunakan persamaan umum berikut : $Y = 43,21 - 1,41 X_1 - 0,76 X_2 - 4,18 x_1^2 - 1,07 x_2^2 - 6,64 X_1X_2$ dengan X_1 dan X_2 masing-masing adalah persentase sekam padi dan foam agent.

Kata kunci : Bata Ringan, Response Surface Methode, Densitas, Daya Serap Panas, Daya Serap Air, Kuat Tekan.

ABSTRACT

Rapid population growth led to the provision of quality building materials also experienced an increase in demand. Therefore, there needs to be a more in-depth study. This final project aims to find the best composition of light brick building materials, namely the percentage of rice husks and foam agents using (RSM) response surface method. The results of this study obtained the optimum value of the percentage of rice husk addition and foam agent in the light brick production process with a water absorption response value of 7.18% rice husk factor and 0.93% foam agent factor. while with a strong response press obtained the optimum value of 7.05 % rice husk factor and 1.24 % foam agent factor. The study also recommends a general equation for predicting the absorption of light brick water when using both compositions of the material, namely: $Y = 6.4 + 0.654X_1 - 0.331X_2 + 1.092X_1^2 + 0.679X_2^2 + 0.22X_1X_2$ while to predict the strength of the light brick press using the following general equation: $Y = 43.21 - 1.41X_1 - 0.76X_2 - 4.18X_1^2 - 1.07X_2^2 - 6.64$ with and respectively is the percentage of rice husks and foam agents.

Keywords : Light Brick, Surface Response, heat absorption, water absorption, strong press.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan proyek akhir ini. Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan laporan proyek akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik langsung maupun tidak langsung. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Keluarga tercinta, khususnya Ayahanda Muharam dan Ibunda Erna Hayati serta para kakak - kakak penulis yang selaku memberikan semangat, dukungan moral ataupun material, motivasi dan doanya sehingga proyek akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng, Ph.D selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Dan juga sebagai pembimbing 2 penulis yang telah bersedia menyediakan waktu untuk membimbing serta memberi arahan kepada penulis.
5. Bapak Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T selaku pembimbing 1 penulis yang telah bersedia menyediakan waktu untuk membimbing serta memberi arahan kepada penulis.
6. Bapak Yuliyanto, S.S.T., M.T yang telah memberikan waktu dan arahnya dalam proses pengujian daya serap panas dan kuat tekan yang digunakan pada penelitian proyek akhir ini.

7. Seluruh dosen, staf pengajar dan teknisi pada Politeknik Negeri Bangka Belitung, khususnya pada program studi Teknik Mesin dan Manufaktur yang telah membuka pikiran dan wawasan keilmuan penulis.
8. Orang – orang terkasih penulis, terutama teman baik sekaligus rekan pada tugas akhir yang telah banyak membantu penulis dalam pembuatan proyek akhir ini.
9. Teman – teman seperjuangan, terutama kelas Teknik Mesin dan Manufaktur A (TMM A) yang telah memberikan motivasi, semangat, serta doa dan juga bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Semua pihak terkait yang telah membantu dalam penyelesaian makalah ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap Tuhan yang maha Esa membalas segala kebaikan untuk semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini, semoga proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung serta bagi pembacanya pada masa yang akan datang.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Sungailiat, 28 Januari 2022

Penulis,

Sahril Mashuri Ihsan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.1.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Bata ringan	6
2.2.1 Kelebihan bata ringan	7
2.2.2 Kekurangan Bata Ringan	8
2.2.3 Persyaratan Fisik Bata Ringan	9
2.3 Bahan Penyusun Bata Ringan	9
2.4 Karakteristik Bata Ringan	12
2.4.1 Uji Densitas (Berat Volume)	12
2.4.2 Uji Daya Serap Panas	12
2.4.3 Uji Daya Serap Air	13
2.4.4 Uji Kekuatan (Kuat Tekan)	13

2.5	Metode RSM (<i>Response Surface Methode</i>).....	13
BAB III METODE PELAKSANAAN.....		19
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	20
3.3.1	Alat Penelitian	20
3.3.2	Bahan Penelitian.....	22
3.4	Menentukan Variabel Penelitian	22
3.4.1	Rancangan Penelitian.....	23
3.5	Pembuatan Sampel Bahan Uji	24
3.6	Prosedur Pengujian Sampel Bahan Uji.....	25
3.7	Metode Pengumpulan Data	26
3.8	Metode Analisis Data	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Rancangan Penelitian	27
4.2	Data Hasil Penelitian	28
4.2.1	Pengambilan Data.....	28
4.2.2	Hasil Densitas	30
4.3	Hasil Daya Serap Panas.....	31
4.4	Hasil Pengujian Serap Air	33
4.3.1	Analisis Varian (ANOVA)	34
4.3.2	Optimasi Respon Daya Serap Air.....	41
4.3.3	Surface Plot Daya Serap Air.....	42
4.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan	43
4.4.1	Analisis Varian (ANOVA)	45
4.4.2	Optimasi Respon Kuat Tekan.....	51
4.4.3	Surface Plot Kuat Tekan.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Kesimpulan.....	54

5.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		55
LAMPIRAN.....		58
Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup.....		58
Lampiran 2 Hitungan Densitas.....		59
Lampiran 3 Hitungan Daya Serap Air.....		61
Lampiran 4 Hitungan Kuat Tekan.....		63



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persyaratan Fisik Bata Ringan	9
Tabel 2. 2 Nilai daya serap air pada bata lainnya	13
Tabel 2. 3 <i>Analysys Of Variance</i> (ANOVA)	15
Tabel 3.1 Nilai level yang diuji.....	23
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian.....	23
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Densitas	30
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Daya Serap Panas	31
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Daya Serap Air	33
Tabel 4. 4 Tabel Penolong Hitungan Anova 1	34
Tabel 4. 5 Tabel Penolong Hitungan Anova 2.....	36
Tabel 4. 6 Tabel Penolong Hitungan Anova 3.....	38
Tabel 4. 7 ANOVA Pengujian Daya Serap Air	40
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kuat Tekan	44
Tabel 4. 9 Tabel Penolong Hitungan Anova 4.....	45
Tabel 4. 10 Tabel Penolong Hitungan Anova 5.....	46
Tabel 4. 11 Tabel Penolong Hitungan Anova 6.....	48
Tabel 4. 12 ANOVA Pengujian Kuat Tekan	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bata ringan	6
Gambar 2. 2 <i>Foam agent</i>	10
Gambar 2. 3 Sekam padi	11
Gambar 2. 4 Titik-titik pada bagian kubus.....	16
Gambar 2. 5 Titik-titik pada bagian axial/star	17
Gambar 2. 6 Rancangan penelitian CCD 2 faktor.....	17
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 3. 2 Cetakan.....	20
Gambar 3. 3 Timbangan digital	21
Gambar 3. 4 <i>Infrared termhometer</i>	21
Gambar 3. 5 <i>Mixer</i>	21
Gambar 3. 6 Jangka sorong.....	22
Gambar 4. 1 Hasil sampel bata ringan dengan 3 kali replikasi.....	29
Gambar 4. 2 (a) Penimbangan dan (b) pengukuran volume sampel bata ringan sesudah dibuka dari cetakan.....	29
Gambar 4. 3 (a) Proses pengujian daya serap panas dan (b) pengukuran suhu sampel bata ringan.....	31
Gambar 4. 4 (a) Proses pengujian daya serap air dan (b) Sampel hasil pengujian daya serap air	33
Gambar 4. 5 Surface plot daya serap air	43
Gambar 4. 6 (a) Proses pengujian kuat tekan dan (b) Sampel hasil pengujian kuat tekan	43
Gambar 4. 7 Surface plot kuat tekan	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring meningkatnya perkembangan penduduk seperti sekarang ini, kebutuhan dalam penyediaan bahan bangunan yang berkualitas turut menjadi perhatian yang cukup besar. Hal ini dikarenakan permintaan yang semakin meningkat untuk pengadaan bahan bangunan contohnya seperti kebutuhan bata ringan dalam keperluan konstruksi membangun perumahan tempat tinggal. Oleh karena itu, bata ringan yang berkualitas dan mudah didapatkan serta harga yang cukup relatif murah mengalami permintaan yang tinggi. Adapun bata ringan yang tersedia di kalangan masyarakat kebanyakan harganya yang cukup mahal dan sulit dijangkau akibat terkendala pada biaya karena hanya di beberapa daerah saja ada pabrik yang memproduksi bata ringan. Maka dari hal itu perlu adanya produksi bata ringan yang dihasilkan oleh masyarakat baik itu secara individu maupun secara berkelompok, agar dapat terjangkau oleh seluruh lapisan masyarakat. (Sinulingga K, 2017)

Dalam proses produksi bata ringan bahan penyusun dan bahan campuran pada bata ringan juga patut mengalami peningkatan guna mendapatkan hasil bata ringan yang berkualitas. Saat ini orang mulai banyak beralih menggunakan bata ringan ketimbang menggunakan batako konvensional dalam pembangunan rumah dan gedung bertingkat. Bata ringan dipilih karena memiliki kelebihan yaitu beratnya yang lebih ringan dibandingkan dengan batako konvensional dan bata merah. Bata ringan sendiri adalah salah satu bahan bangunan, bata ringan memiliki berbagai kegunaan seperti bahan pembuat dinding, pagar, lorong dan pondasi bangunan tempat tinggal. Batu bata biasanya berfungsi sebagai bahan non-struktural, selain itu bata ringan juga memiliki fungsi sebagai bahan struktural. Sebagai bahan struktural batu bata digunakan untuk menopang atau sebagai benda penahan beban di atasnya misalnya pada konstruksi dan pondasi rumah sederhana, sedangkan fungsi bata ringan yang

berfungsi sebagai bahan non-struktural adalah digunakan untuk memisahkan dinding dan sebagai estetika. (Sinulingga K, 2017)

Dalam proses produksi bata ringan terdapat beberapa elemen penyusun, baik itu sebagai elemen penyusun utama maupun sebagai elemen penyusun campuran. Semen, pasir, air dan *foam agent* merupakan bahan utama dalam proses produksi bata ringan. Keempat elemen ini merupakan komponen terpenting dalam proses produksi bata ringan. *Foam agent* digunakan untuk mengurangi bobot dari batu bata dan dapat dikombinasikan dengan elemen lainnya berupa serat alam atau bahan lainnya. Dalam hal ini dipilih sekam padi sebagai bahan campuran yang dapat meningkatkan kekuatan bata ringan. Sekam padi merupakan juga adalah salah satu serat alam yang mudah ditemukan karena sering dikategorikan sebagai sampah.

Dengan segala problem diatas, tentu saja mendorong untuk melakukan upaya efisiensi dalam proses produksi bata ringan guna meningkatkan kualitas dari bata ringan itu sendiri. Maka dari hal itu untuk mendapatkan kualitas bata ringan yang baik perlu adanya pengoptimalan dalam proses produksi. Ciri-ciri dari bata ringan yang memiliki kualitas baik adalah bata ringan yang mempunyai nilai massa jenis kecil, bata ringan yang memiliki sifat penyerapan air yang rendah dan memiliki sifat penyerapan panas yang rendah agar dinding tahan dari panas serta mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi.

Didalam metode statistika, metode eksperimen yang tepat dalam proses pengoptimasian ialah *response surface methodology*. *Response surface methodology* adalah metode campuran dari teknik matematika dan statistika dengan tujuan mengoptimalkan suatu respon yang dipengaruhi oleh beberapa faktor . Kelebihan metode ini jika dibandingkan dengan metode lainnya adalah mampu menganalisis masalah dari beberapa faktor yang mempengaruhi respon, memperoleh bentuk interaksi antara faktor dengan respon serta memperoleh nilai faktor optimum yang dapat menghasilkan nilai respon terbaik. Kelebihan lainnya dari metode ini ialah hanya menggunakan sedikit data eksperimen serta hanya memerlukan sedikit biaya dan waktu yang singkat dalam proses penelitiannya. (Sitti Nurmiah, 2013)

(Eko Prayitno, 2021) menyatakan bahwa bata ringan yang memiliki nilai berat isi dan nilai kuat tekan terbaik pada komposisi *foam agent* sebanyak 0,8% dengan bahan tambah serbuk gypsum sebanyak 10%, masing-masing diperoleh hasil 812,8 kg/m³ dan 11,15 MPa. Sampel bata ringannya ukuran 5 × 5 × 5 cm³, komposisi serbuk gypsum yang digunakan sebanyak 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 %. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak dari tambahan *foam agent* dan serbuk gypsum terhadap nilai berat isi dan nilai kuat tekan pada bata ringan. Dapat disimpulkan bahwa bata ringan terbaik pada komposisi *foam agent* 0,8% dan serbuk gypsum 10%.

(Murtono, 2015) menyatakan bahwa bata ringan yang memiliki nilai kuat tekan, nilai kuat tarik belah, dan nilai kuat lentur terbaik pada komposisi *foam agent* sebanyak 0,6 lt/m³, masing-masing diperoleh hasil 4,02 MPa, 0,34 Mpa dan 0,738 MPa. Komposisi *foam agent* sebanyak 0 lt/m³, 0,6 lt/m³, 0,8 lt/m³, dan 1.0 lt/m³ dari volume beton. *Foam agent* ditambahkan agar berat beton menjadi lebih ringan.. Dapat disimpulkan bahwa komposisi terbaik pada tambahan *foam agent* pada bata beton adalah sebanyak 0,6 lt/m³.

(Sulfianty, 2020) menyatakan bahwa bata dengan penambahan H₂O₂ sebagai pembentuk pori, penambahan H₂O₂ pada penelitian ini sebanyak 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1%, 1,2%, 1,4%, 1,6%, dan 1,8 %. Hasil dari penelitian yaitu nilai daya serap air terbaik sebesar 3% dengan tambahan 0,2% H₂O₂, juga nilai densitas terbaik sebesar 5,1% dengan tambahan 1,6% H₂O₂, dapat disimpulkan bahwa semakin sedikit penambahan H₂O₂ maka nilai daya serap air akan semakin baik, dan juga sebaliknya semakin banyak penambahan H₂O₂ semakin baik nilai densitasnya kemudian diuji *shock thermal* untuk mengetahui ketahanan panas bata, hasilnya adalah bahwa bata tidak mengalami kerusakan setelah terpapar selama 30 menit dengan suhu 1300°C.

Berdasarkan data di atas maka dilakukan kajian terhadap persentase sekam padi dan *foam agent* sebagai material campuran pada bata ringan, hal ini berguna untuk

mengoptimalkan proses produksi bata ringan karena sekam padi dapat menjadi bahan penyusun campuran bata ringan yang ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan di atas, maka didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Berapa nilai optimum pada penambahan sekam padi terhadap bata ringan ?
2. Berapa nilai optimum pada penambahan *foam agent* terhadap bata ringan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah bertujuan untuk :

1. Mengetahui nilai optimum pada penambahan sekam padi terhadap bata ringan.
2. Mengetahui nilai optimum pada penambahan *foam agent* terhadap bata ringan.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bahan tambah yang digunakan adalah sekam padi.
2. Variabel bebas pada penelitian ini ialah persentase sekam padi dan *foam agent*.
3. Variabel kontrol pada penelitian ini yaitu komposisi pasir dan semen 2 : 1, komposisi air 0,4 dari berat semen.
4. Analisis yang digunakan menggunakan *respon surface methode*.
5. Pengujiannya meliputi uji densitas uji daya serap air, uji daya serap panas, dan uji kuat tekan.
6. Ukuran sampel bahan uji bata ringan ukuran 5 x 5 x 10 cm^3 .

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Penelitian Terdahulu

Pada saat melakukan sebuah penelitian dibutuhkan sumber-sumber untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan. Baik penelitian ataupun teori-teori dasar dari penelitian tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait sekam padi adalah sebagai berikut :

(Ressi Anggraeni, 2019) meneliti bata ringan berbahan tambah sekam padi, komposisi sekam padi yang digunakan sebanyak 0 %, 10 %, 20 %, 30 % dan 40 %. Ukuran sampel yang digunakan adalah $5 \times 5 \times 1 \text{ cm}^3$. Dari hasil penelitian nilai densitas terbaik terdapat pada persentase 40 % dengan nilai $1,48 \text{ gr/cm}^3$, nilai daya serap air yang terbaik terdapat pada persentase 0 % sebesar 10,58 %, dan untuk nilai kuat tekan terbaik terdapat pada persentase 10 % sebesar $56,33 \text{ kg/m}^3$.

(La Ode Musa Rachmat, 2021) meneliti tentang pengaruh dari komposisi penambahan serat ijuk aren dan sekam padi yang terkarbonasi terhadap batu bata merah, komposisi yang digunakan perbandingan sekam (gr) : ijuk (gr) yaitu dengan variasi 0 : 500, 500 : 0, 50 : 450, 100 : 400, 150 : 350, 200 : 300, 250 : 250, 300 : 200, 350 : 150, 400 : 100, 450 : 50. Dari hasil penelitian didapatkan komposisi terbaik adalah pada komposisi 50 (gr) ijuk : 450 (gr) sekam padi, dengan nilai densitas sebesar 950 g/cm^3 dan nilai kuat tekan sebesar 3,012 MPa.

2.2 Bata ringan



Gambar 2. 1 Bata ringan

sumber : (Novi Suryani, 2015)

Bata ringan merupakan bahan bangunan yang memiliki berat lebih ringan dibandingkan bata merah dan batako konvensional. Sejarah singkat bata ringan pertama kali di tahun 1923 dikembangkan di Swedia oleh seorang arsitek dan *inventor* bernama Dr. Johan Axel Eriksson yang bekerja sama dengan Profesor Henrik Kreuger dari KTH Institut Teknologi Kerajaan Swedia. Bata ringan dikembangkan sebagai pengganti material bangunan guna mengurangi tindakan pengundulan hutan. Kemudian pada tahun 1943 oleh Joseph Hebel asal Jerman dikembangkan lagi agar lebih sempurna dengan alasan ramah lingkungan dan terbuat dari sumber daya alam yang melimpah. Di Indonesia sendiri masyarakat baru mulai mengenal bata ringan pada tahun 1995. Pabrik bata ringan dibangun pertama kali di kawasan industri tepatnya di Karawang, Jawa Barat. Di Indonesia bata ringan sering disebut dengan bata *hebel* karena oleh Joseph Hebel bata ringan diberi merk dagang *hebel* jadi lidah orang Indonesia lengket menyebut merk. (Elia Hunggurami, 2014)

Bata ringan sering dijumpai pada pembangunan gedung-gedung tinggi/gedung pencakar langit sebagai pemisah dinding. Namun bata ringan tidak hanya dipakai pada proyek pembangunan gedung-gedung tinggi/gedung pencakar langit saja, bahkan turut juga dipakai pada rumah 1 dan 2 lantai. Bahan bangunan ini mempunyai banyak kelebihan. Tidak heran jika pada proyek gedung bertingkat lebih sering kita temukan penggunaannya. Bata ringan adalah salah satu unsur penting dalam pembuatan konstruksi bangunan, disebut bata ringan bukan karena hanya bobotnya

yang ringan namun juga karena isolasi suhu yang tinggi dibandingkan bata yang lainnya.

2.2.1 Kelebihan bata ringan

Berikut beberapa kelebihan dari bata ringan :

1. **Memiliki berat ringan dan lebih kuat**
Bata cetak yang satu ini mempunyai berat lebih ringan dibandingkan dengan batako konvensional dan bata merah, dan juga memiliki kekuatan yang baik sehingga struktur tidak terbebani. Bata ringan juga kuat terhadap tekanan sehingga mempunyai ketahanan yang baik akibat guncangan.
2. **Memiliki bentuk dan ukuran yang seragam**
Bata ringan dicetak menggunakan mesin secara massal, yang kemudian dipotong dengan mesin potong khusus agar bentuk dan ukurannya seragam, tidak seperti batako konvensional dan bata merah yang dicetak satu persatu.
3. **Rapi dan bersih**
Pemasangan bata ringan berbeda dengan pemasangan bata merah dan batako konvensional, pemasangan bata ringan tidak memerlukan campuran pasir dan semen, hanya perlu semen instan yang dicampur sedikit air. Alhasil, pemasangan bata ringan lebih bersih dan praktis, sehingga tidak ada noda pasir yang bertebaran.
4. **Plesteran yang tidak perlu tebal**
Bata ringan mempunyai karakteristik yang sangat halus. Sehingga, tampilan bata ringan yang terpasang akan terlihat lebih rapi, hampir tidak perlu diplester. Namun, plesteran juga tetap harus dilakukan agar dapat menambah estetika serta melindungi material dinding dari rembesan air hujan.
5. **Lebih efisien dalam pengerjaan**
Ukuran satuan bata ringan lebih besar dari batako konvensional dan bata merah sehingga proses pengerjaannya lebih cepat. Pengerjaan bata ringan memakai perekat instan sehingga lebih mudah serta biaya yang dikeluarkan lebih hemat.

6. Sulit terbakar

Bata ringan juga digolongkan ke dalam material yang tahan terhadap api sehingga menjadikan bata ringan sulit untuk terbakar. Alhasil bangunan yang didirikan dengan material bata ringan akan sulit merambat ke bangunan yang lain jika kebakaran terjadi.

7. Kedap suara dan tahan air

Pada bata ringan terdapat rongga udara dalam materialnya, maka bata ringan jenis ini lebih kedap suara. Bata ringan juga lebih tahan air, alhasil rumah lebih tahan dalam cuaca lembab.

2.2.2 Kekurangan Bata Ringan

Bata ringan juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu :

1. Memiliki harga tinggi

Bata ringan dibandrol harga mahal dari bata merah dan batako konvensional karena memiliki kualitas yang tinggi.

2. Memerlukan tukang berpengalaman

Dalam proses pengerjaan bata ringan diperlukan tukang yang sudah ahli serta lebih berpengalaman beda dengan pengerjaan batako konvensional dan bata merah.

3. Tersedia di toko/distributor besar

Sangat disayangkan bahwa bata ringan tidak bisa dijumpai di setiap tokoh bahan bangunan karena hanya tersedia di tokoh bahan bangunan yang besar saja.

4. Memerlukan perekat khusus yang mahal

Dalam proses pengerjaan bata ringan diperlukan perekat khusus, berbeda dengan pengerjaan batako konvensional dan bata merah yang bisa menggunakan perekat campuran semen dan pasir. Perekat khusus ini tentu memiliki harga yang mahal dibandingkan mortar campuran semen dan pasir.

5. Pengeringan yang lebih lama.

Jika bata ringan terlalu basah yang diakibatkan hujan, maka perlu waktu yang lama untuk proses pengeringannya.

2.2.3 Persyaratan Fisik Bata Ringan

Suatu acuan penting yang menjadi syarat utama dalam menentukan kualitas suatu barang/benda adalah standarisasinya. Menurut SNI 03-0349-1989 kualitas bata ringan yang akan digunakan dalam proses pemasangan dinding harus memenuhi beberapa syarat fisik seperti karakteristik dari nilai kuat tekan dan nilai serapan airnya. Berikut ini syarat fisik dari bata ringan disajikan pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Persyaratan Fisik Bata Ringan

Syarat Fisik	Satuan	Tingkat mutu bata beton pejal				Tingkat mutu bata beton berlubang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
Kuat tekan bruto* rata-rata min.	Kg/cm ²	100	70	40	25	70	50	35	20
Kuat tekan bruto* masing-masing benda uji min.	Kg/cm ²	90	65	35	21	65	45	30	17
Penyerapan air rata-rata maks	%	25	35	-	-	25	35	-	-

sumber : (SNI 03 0349 1989)

2.3 Bahan Penyusun Bata Ringan

Dalam proses pencetakan bata ringan terdapat beberapa elemen penyusun yaitu sebagai berikut :

1. Pasir

Pasir merupakan bahan dasar dalam pembuatan bata ringan, pasir merupakan material yang berbentuk butiran. Butirannya secara umum mempunyai ukuran kisaran 0,06 - 2 mm. Material penyusun pasir adalah silika/asam silikat (SiO₂), tapi ada juga terbentuk dari batu kapur yang terletak di pantai yang iklimnya tropis dan subtropis. Pasir mempunyai rongga yang besar yang menyebabkan hanya sebagian tanaman yang dapat tumbuh di pasir. Pasir juga memiliki peranan penting dalam proses pencetakan bata ringan, pasir juga

material penting apabila dicampurkan dengan perekat semen yang berfungsi mengikat seluruh elemen penyusun bata ringan. (Slamet Budirahardjo, 2014)

2. Semen

Semen juga merupakan bahan dasar pembuatan bata ringan, semen berfungsi sebagai perekat antara butir-butir pasir sehingga bisa menutupi rongga-rongga yang kosong dan dapat memadatkan material penyusun bata ringan. Semen merupakan elemen umum yang sering dipakai untuk campuran adukan beton, plesteran dinding, dan hal-hal lainnya. Semen memiliki sifat kimiawi apabila dicampur dengan air akan menjadi keras yang bersifat padat dan tidak akan larut jika direndam dalam air. Kondisi semen demikian disebut dengan semen hidrolis. (Slamet Budirahardjo, 2014)

3. Air

Air merupakan salah satu elemen campuran penting dalam proses pencetakan bata ringan, pemakaian air dalam proses pencetakan bata ringan berguna sebagai pengikat elemen-elemen lainnya. Akan tetapi, tidak sembarang jenis air yang dapat digunakan melainkan air yang harus memenuhi syarat berikut :

- Harus air yang jernih bukan air sadah yang memiliki kadar mineral tinggi.
- Harus air yang tidak terkandung banyak garam.
- Harus air yang bersih serta tidak terdapat kotoran dan sampah dan juga tidak mengandung bahan yang dapat merugikan bata ringan. (Hidayati, 2018)

4. *Foam Agent*



Gambar 2. 2 *Foam agent*

Foam Agent adalah larutan surfaktan pekat, jika akan digunakan harus dilarutkan dalam air terlebih dahulu. *Foam Agent* juga salah satu elemen penyusun bata ringan yang wujudnya busa dan bertujuan mengurangi berat bata ringan yang ditandai dengan adanya pori-pori pada permukaan bata ringan. (Murtono, 2015)

5. Sekam Padi



Gambar 2. 3 Sekam padi
sumber : (Hidayati, 2018)

Sekam Padi adalah sisa dari proses pengolahan padi selesai panen yang sering juga disebut berupa kulit gabah. Sekam padi seringkali dianggap sebagai sampah yang tidak terpakai, namun sekam padi bisa juga digunakan sebagai elemen campuran dalam pencetakan bata ringan guna meningkatkan kualitas dari bata ringan. Sekam merupakan pelindung bagian dalam (endospermium dan embrio) pada tanaman padi-padian (serelia) yang tidak dapat dimakan, sekam bentuknya berupa lembaran kering serta bersisik. Sekam biasanya dapat ditemukan pada hampir seluruh tanaman rerumputan (poaceae) atau sering dijumpai khususnya pada tanaman padi. Sekam biasanya sering digunakan pada bidang pertanian yaitu sebagai media tanam, sekam tersebut dibakar terlebih dahulu kemudian baru dapat digunakan. (Hidayati, 2018)

Maksud utama penambahan sekam padi kedalam bata ringan adalah untuk :

- Memanfaatkan sekam padi yang biasanya dianggap sebagai sampah yang mencemari lingkungan.
- Mudah didapatkan dan harga yang terjangkau.

2.4 Karakteristik Bata Ringan

Tahapan yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari material bata ringan adalah dengan cara melakukan beberapa pengujian, hal ini sebagai tolak ukur dalam menentukan kualitas bata ringan, berikut ini beberapa pengujiannya :

2.4.1 Uji Densitas (Berat Volume)

Bata ringan merupakan suatu material yang beratnya lebih ringan ketimbang batako konvensional dan bata merah. Tolak ukur dari proses ini adalah jika nilai densitas bata ringan rendah maka kualitas bata ringan baik, sebaliknya jika nilai densitasnya tinggi maka kualitas bata ringan kurang baik. Hal ini dikarenakan semakin rendah nilai densitas maka berat bata ringan semakin ringan juga, begitupun sebaliknya. Proses pengujian densitas ini dikerjakan dengan menimbang berat sampel bahan uji yang kering (setelah dibuka dari cetakan) dalam satuan gram (gr), kemudian mengukur panjang, lebar dan tinggi sampel bahan uji dalam satuan cm^3 . Semakin kecil nilai densitas pada bata ringan maka semakin bagus kualitas bata ringan tersebut. Rumus persamaan pada pengujian ini sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan ρ ialah nilai densitas (gr/cm^3), m ialah berat bahan uji (gr) dan v ialah volume bahan uji (cm^3).

2.4.2 Uji Daya Serap Panas

Panasnya suasana dalam rumah yang mengganggu kenyamanan dapat dipengaruhi oleh dinding yang tidak mampu mereduksi panas, pemilihan dalam material penyusun bata ringan juga dapat menjadi penyebabnya. Tembok yang dapat menyerap panas dapat difungsikan menjadi reduktor panas pada bangunan supaya dapat menghambat hantaran panas yang terjadi. Bata ringan berkualitas adalah bata ringan yang tidak menimbulkan panas yang mengganggu suasana dalam rumah. (Slamet anambyah, 2010)

2.4.3 Uji Daya Serap Air

Bata ringan adalah material yang mudah dalam menyerap air, bata ringan berkualitas memiliki nilai daya serap air yang rendah. Umumnya, bata ringan yang berkualitas tinggi ialah yang memiliki nilai daya serap air < 25%. Proses pengujian daya serap air ini dikerjakan dengan menimbang berat bahan uji kering dan dicatat hasilnya sebagai BK, kemudian sampel bahan uji direndam selama 24 jam didalam air, selanjutnya angkat dan keringkan memakai kain sampai tidak ada lagi air yang menetes, selanjutnya timbang dan catat hasilnya sebagai BB. (Hidayati, 2018)

Rumus persamaan pada pengujian ini sebagai berikut :

$$\text{Daya serap air (\%)} = \frac{(BB-BK)}{BK} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

Dengan BB ialah Berat basah bahan uji (gr) dan BK ialah Berat kering bahan uji (gr). Berikut ini adalah nilai daya serap air pada 2 jenis bata yang dijadikan referensi sebagai pembanding disajikan pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Nilai daya serap air pada bata lainnya

Jenis Bata	Nilai Daya Serap Air
Bata Merah	26,2 %
Bata Ringan Pasaran	21,75 %

sumber : (Mei Sofiatul Hasahah, 2021) ; (Raditya Hardianto, 2018)

2.4.4 Uji Kekuatan (Kuat Tekan)

Uji kekuatan/kuat tekan pada bata ringan dilakukan dengan memberi tekanan secara teratur pada bata ringan dengan daya tekanan semaksimal mungkin sampai bata ringannya retak atau patah. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan bata ringan dalam menerima beban tekanan. Semakin tinggi nilai kekuatan pada bata ringan maka semakin bagus kualitas bata ringan tersebut. (Ressi Anggraeni, 2019)

2.5 Metode RSM (*Response Surface Methode*)

Suatu rancangan percobaan adalah metode yang diterapkan dalam proses peningkatan dan perbaikan hasil dari suatu proses yang berkaitan dengan kualitas. Rancangan percobaan bisa diartikan dengan satu atau lebih pengujian yang dapat

mengetahui penyebab perubahan pada respon dengan cara merubah faktor suatu proses. RSM ialah metode campuran dari teknik matematika serta teknik statistika yang berguna mendapatkan syarat optimal dari suatu hasil yang diakibatkan oleh faktor. Dalam menganalisa RSM, wujud dari persamaan eksperimen harus diperhatikan, apakah termasuk dalam fungsi orde pertama atau kedua. Dalam fungsi orde pertama, pada rancangan percobaannya hanya menerapkan $2k$ faktorial yang mempunyai 2 level perlakuan, sedangkan pada orde kedua rancangan percobaannya menerapkan *central composite design* dan *box-behnken design* yang membutuhkan sampel yang banyak ketimbang rancangan $2k$ faktorial. Perbedaan antara CCD dengan BBD adalah pada rancangan CCD terdapat *axial/star run* sebanyak 4 buah pada tabel rancangannya. Konsep dasar dari teknik ini adalah menggunakan rancangan penelitian melalui bantuan teknik statistika dalam melacak nilai suatu respon yang optimal. Kaitan antara variabel terikat (Y) dan variabel bebas sebagai berikut :

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \epsilon \dots \dots \dots (3)$$

Dengan Y adalah Variabel terikat (respon), x_i adalah Variabel bebas (faktor) ($i = 1, 2, 3, \dots, k$), dan ϵ adalah Error.

Langkah yang dilakukan pertama kali dalam penelitian RSM adalah memeriksa kaitan antara Y dan X. Bentuk linier adalah kaitan yang dicoba pertama kali, pendekatan ini biasanya sering disebut *first order model*, berikut ini adalah persamaan sederhana dari *first order model* :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i \dots \dots \dots (4)$$

Kemudian jika bentuknya bukan linier maka bentuknya adalah kuadrat, yang sering juga disebut *second order model*, berikut ini adalah persamaannya :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \dots \dots \dots (5)$$

Dengan Y adalah hasil, β_0 adalah titik potong kurva sumbu y (*intercept*), β_i adalah koefisien regresi x_i , x_i adalah faktor ke i, dan ϵ adalah *error*.

Kemudian dilakukan *analysis of variance* (ANOVA) yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh faktor terhadap respon. Rumus mencari perhitungan ANOVA disajikan pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2. 3 *Analisis Of Variance* (ANOVA)

Sumber Variansi	Dk	Jumlah Kuadrat	Rata-rata Kuadrat	Fhitung
Regresi	K	$SS_R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\hat{y}_{ij} - \bar{y})^2$	$MS_R = \frac{SS_R}{df_R}$	$\frac{MS_R}{MS_E}$
Residual error	n-k-1	$SS_E = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2$	$MS_E = \frac{SS_E}{df_E}$	-
Lack-of-Fit	k-p	$SS_L = SS_E + SS_{PE}$	$MS_L = \frac{SS_L}{df_L}$	$\frac{MS_L}{MS_{PE}}$
Pure Error	$\sum_{i=1}^m (n_i - 1)$	$SS_{PE} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	$MS_{PE} = \frac{SS_{PE}}{df_{PE}}$	-
Total	n-1	$SS_T = SS_R + SS_E$	-	-

sumber : (Aryantini, 2017)

Dengan m, n adalah total level, total sampel, p adalah total faktor, k adalah total variabel bebas, \bar{y} adalah rata-rata keseluruhan respon, \hat{y} adalah nilai taksiran respon pada level variabel proses ke i, y_{ij} adalah nilai respon pada level variabel proses ke i dan percobaan j, \bar{y}_i adalah nilai rata-rata respon dari ni pengamatan pada x_i .

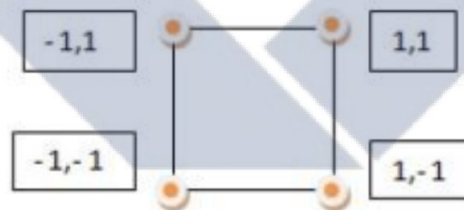
Dalam orde masing-masing ada 2 pengujian, yaitu uji serentak dan uji *lack of fit* yang bertujuan mengetahui apakah faktor memiliki pengaruh yang signifikan pada respon, sedangkan uji *lack of fit* bertujuan mengetahui apakah model cocok/tidak. Dalam proses menyimpulkan keputusan dalam uji serentak ialah dengan melihat nilai Fhitung/Pvalue. Jika Fhitung > FTabel, ataupun Pvalue < tingkat signifikan dapat disimpulkan bahwa faktor memiliki pengaruh yang signifikan pada respon, artinya ada kecocokan model. Dalam hal ini perlu dilakukan pengujian lagi untuk menyimpulkan kecocokan model yaitu uji *lack of fit*, dalam pengujian ini harus menentukan hipotesis terlebih dahulu, yaitu :

H_0 = Tidak ada *lack of-fit* pada model

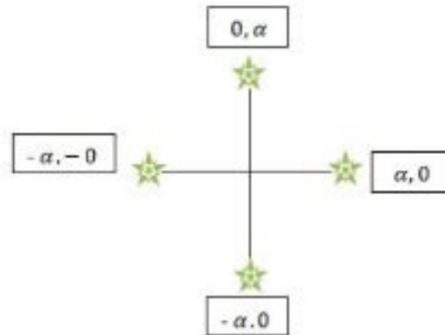
H_1 = Ada *lack of-fit* pada model

H_0 diterima jika $F_{hitung} < F_{tabel}$, hal ini membuktikan tidak ada *lack of fit* pada model/ada kecocokan model. Selain itu, dengan cara pengecekan *Pvalue* juga bisa memutuskan H_0 diterima/tidak, jika nilai *Pvalue* > tingkat signifikan dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima/ada kecocokan model.

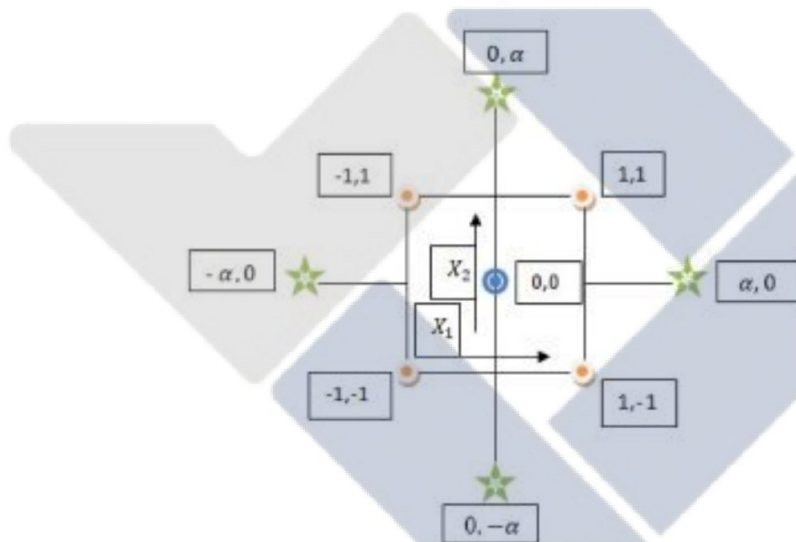
Metode yang digunakan ialah CCD, rancangan percobaan ini dimulai dengan *design* faktorial dengan tambahan titik pusat dan beberapa titik bintang. Rancangan CCD ini merupakan $2k$ faktorial yang sudah melewati model orde pertama tetapi tidak ada kesesuaian dalam model, selanjutnya ditambah beberapa titik bintang sehingga dapat memenuhi bentuk kuadratik pada model orde kedua. Titik bintang ditambah berdasarkan dengan hitungan $\alpha = 2k/4$, k adalah jumlah faktor. Rancangan percobaan CCD digunakan pada percobaan yang minimal memiliki 2 faktor dengan masing-masing level pada tiap faktor di titik-titik pada bagian kubus akan dikodekan dari nilai minimum yaitu dengan kode -1 dan nilai maksimum dengan kode 1 seperti pada gambar 2.4 serta terdapat titik axial atau titik star pada gambar 2.5.



Gambar 2. 4 Titik-titik pada bagian kubus



Gambar 2. 5 Titik-titik pada bagian axial/star



Gambar 2. 6 Rancangan penelitian CCD 2 faktor

sumber : (NIST/SEMATECH, 2013)

Untuk memperkirakan nilai optimum pada faktor bisa diperoleh menggunakan pendekatan matriks. Berikut ini persamaan regresi dalam bentuk matriks :

$$Y = Xb + \varepsilon \dots \dots \dots (2.)$$

$$\begin{bmatrix} Y_0 \\ Y_1 \\ \vdots \\ Y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{1n} \\ 1 & X_{21} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{k1} & \dots & X_{kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_k \end{bmatrix}$$

Dengan : b adalah vektor kolom, n adalah komponen sebagai pemeriksa dari koefisien regresi berganda, dan ε adalah vektor kolom dengan k adalah komponen, yaitu vektor kesalahan pengganggu, vektor b didapatkan melalui persamaan matriks dibawah ini :

$$\vec{b} = (X^t X)^{-1} (X^t Y)$$

Nilai optimum faktor dapat diperoleh dengan rumus berikut ini :

$$x_0 = -\frac{1}{2} B^{-1} b$$

$$x_0 = -\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \beta_{11} & \frac{1}{2} \beta_{12} \\ \frac{1}{2} \beta_{12} & \beta_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix}$$

Dengan x_0 adalah nilai optimum faktor dan β_{\dots} adalah koefisien konstanta
Selanjutnya untuk mendapatkan nilai faktor optimum dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$x_1 = \frac{\text{faktor (x.....)} - \text{nilai level tengah}}{\text{jarak antar faktor}}$$

$$\frac{\text{faktor (x.....)} - \text{nilai level tengah}}{\text{jarak antar faktor}} = -x_0$$

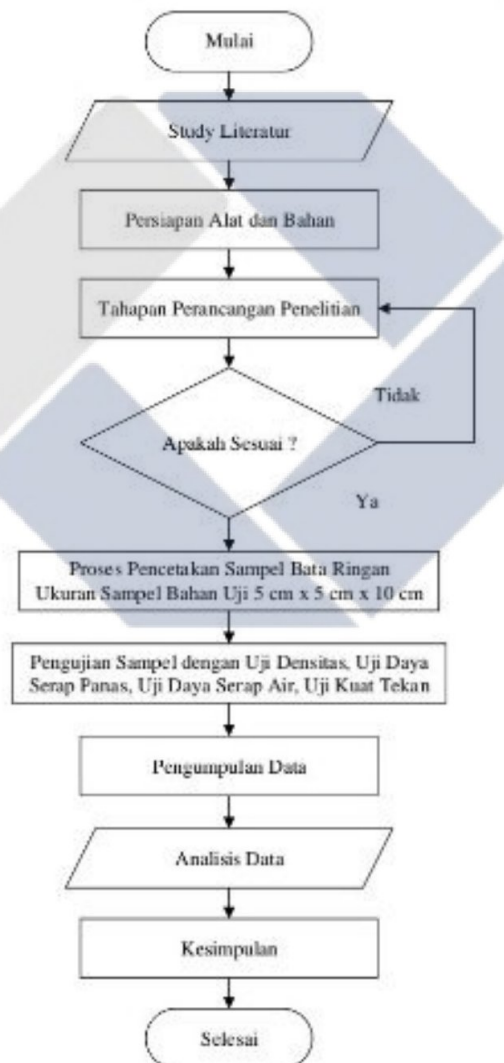
$$\text{faktor (x)} = x_0 \cdot \text{jarak antar faktor} + \text{nilai level tengah}$$

$$\text{faktor (x)} =$$

BAB III METODE PELAKSANAAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan proses yang berguna sebagai pedoman dalam penelitian ini, secara garis besar dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dimulai dari Agustus 2021 - Februari 2022 dan pembuatan sampel dilakukan di halaman belakang Laboratorium Mekanik Polman Babel.

1. Pengujian daya scrap air dan daya scrap panas dilakukan di Laboratorium Mekanik Polman Babel.
2. Perlakuan uji kekuatan/kuat tekan dilakukan di Laboratorium Material Polman Babel.

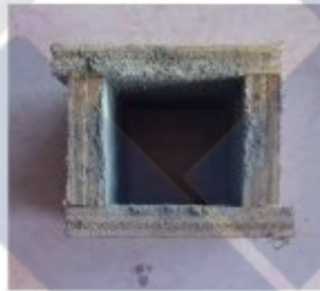
3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Berikut alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini yaitu :

1. Cetakan bata

Dalam proses penelitian ini pembuatan sampel bata ringannya menggunakan cetakan dari papan dengan ukuran $5 \times 5 \times 10 \text{ cm}^3$.



Gambar 3. 2 Cetakan

2. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat pasir, semen, sekam dan sampel bata ringan.



Gambar 3. 3 Timbangan digital

3. *Infrared Termhometer* Krisbow KW06-304



Gambar 3. 4 *Infrared termhometer*

4. Ayakan Pasir

Ayakan pasir merupakan alat yang digunakan sebagai penyaring pasir agar menjadi agregat halus.

5. Adukan/mixer



Gambar 3. 5 *Mixer*

6. Jangka Sorong Mahr GmbH – *Esslingen type 16GN* dengan panjang 150 mm.



Gambar 3. 6 Jangka sorong

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya :

1. Semen
Dalam penelitian ini menggunakan semen *portland composite* bermerk merah putih.
2. Pasir
Pasir yang digunakan adalah pasir berpati yang berwarna keabuan.
3. Air
Air yang digunakan adalah air yang diambil dari sungai.
4. Sekam padi
5. *Foam Agent*
Foam yang digunakan bermerk AKS biasanya dipakai khusus untuk pembuatan bata ringan.

3.4 Menentukan Variabel Penelitian

Pada penelitian ini ada dua variabel bebas yang disebut dengan faktor. Faktor A yaitu fraksi Sekam Padi dengan level 4,5%, 8,5%, dan 12,5% dari berat semen dan faktor B fraksi berat *Foam Agent* dengan level 0,8%, 0,9%, dan 1%. Serta terdapat variabel kontrol yaitu komposisi pasir dan semen 2 (300 gr) : 1 (150 gr) dan komposisi air 0,4 dari berat semen yaitu sebesar 60 gr. Variabel terikat atau respon yang akan dioptimalkan pada penelitian ini yaitu Nilai Daya Serap Air (%) dan Nilai

Uji Kekuatan/Kuat Tekan (Mpa). Berikut ini variabel dan nilai level uji yang akan digunakan pada penelitian terdapat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Faktor dan nilai level yang diuji

Faktor	Level	
	-1 (Rendah)	1 (Tinggi)
Sekam Padi	4,5 %	12,5 %
Foam Agent	0,8 %	1 %

3.4.1 Rancangan Penelitian

Berdasarkan dengan rancangan penelitian dengan RSM *central composite design* jumlah sampel benda uji yang digunakan ada 8 rancangan faktorial dan 5 titik pusat sehingga didapatkan 13 sampel dengan 3 replikasi dengan total yang diuji sebanyak 39 sampel. Berikut rancangan penelitiannya dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian

Variabel Kode		Variabel Asli		Replikasi
X_1	X_2	Sekam Padi (X_1)	Foam Agent (X_2)	
-1	-1	4,5 %	0,8 %	1
1	-1	12,5 %	0,8 %	
-1	1	4,5 %	1 %	
1	1	12,5 %	1 %	
-1,414	0	2,8 %	0,9 %	
1,414	0	14,2 %	0,9 %	
0	-1,414	8,5 %	0,76 %	
0	1,414	8,5 %	1,04 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	

-1	-1	4,5 %	0,8 %	
1	-1	12,5 %	0,8 %	
-1	1	4,5 %	1 %	
1	1	12,5 %	1 %	
-1,414	0	2,8 %	0,9 %	
1,414	0	14,1 %	0,9 %	
0	-1,414	8,5 %	0,76 %	2
0	1,414	8,5 %	1,04 %	
0	0	8,5 %	0,9%	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
-1	-1	4,5 %	0,8 %	
1	-1	12,5 %	0,8 %	
-1	1	4,5 %	1 %	
1	1	12,5 %	1 %	
-1,414	0	2,8 %	0,9 %	
1,414	0	14,1 %	0,9 %	
0	-1,414	8,5 %	0,76 %	3
0	1,414	8,5 %	1,04 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	
0	0	8,5 %	0,9 %	

sumber : Data perhitungan

3.5 Pembuatan Sampel Bahan Uji

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan data primer, data primer adalah data yang didapatkan secara langsung oleh peneliti melalui beberapa tahapan sebagai

objek penelitian. Berikut ini merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan di antaranya :

1. Tahap penimbangan bahan
Menimbang bahan utama dan bahan tambahan pembuatan bata ringan menggunakan timbangan digital.
2. Tahap pencetakan sampel bata ringan
Langkah-langkah pada tahap pengadukan bahan dasar dan bahan campuran :
 - Masukkan semen ke dalam ember.
 - Masukkan air ke dalam ember yang telah terisi semen tadi, kemudian aduk sampai semen dan air hingga tercampur dengan merata.
 - Setelah itu campurkan pasir ke dalam ember, aduk sampai semua bahan semuanya tercampur merata.
 - Campurkan *Foam Agent* (busa) hasil pencairan kedalam adukan pada ember, lakukan pengadukan hingga merata.
 - Masukkan sekam padi kedalam material tadi kemudian tuangkan dalam cetakan kayu sampai rata penuh.
 - Kemudian ratakan permukaannya.
 - Setelah 24 jam dibiarkan, kemudian cetakan dibuka.
4. Tahap penjemuran sampel bata ringan.
5. Tahap pengujian sampel bata ringan.

3.6 Prosedur Pengujian Sampel Bahan Uji

Berikut ini ada beberapa proses pengujian untuk mengetahui sifat fisik pada sampel bata ringan :

1. Uji densitas
Nilai densitas pada bata ringan dilakukan dengan menimbang berat sampel bahan uji yang kering (setelah dibuka dari cetakan), kemudian mengukur panjang, lebar dan tinggi sampel bahan uji. Untuk menentukan nilai densitas

pada sampel bata ringan dapat dihitung menggunakan rumus persamaan (1) yang ada di bab 2.

2. Uji daya serap air

Nilai daya serap air pada bata ringan dapat diperoleh dari proses penimbangan berat sampel bata ringan sebelum direndam dan berat sampel bata ringan yang sudah direndam selama 24 jam. Untuk menentukan nilai daya serap air pada sampel bata ringan dapat dihitung menggunakan rumus persamaan (2) yang ada di bab 2.

3. Uji daya serap panas

Nilai daya serap panas dapat diketahui dengan cara mengovenkan sampel bahan uji yang kemudian diberikan suhu sebesar 500°C selama 30 menit kemudian dicek suhu permukaannya setiap 10 menit sekali. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penyerapan panas pada bata ringan berbahan tambah sekam padi.

4. Uji kekuatan/kuat tekan

Nilai uji kekuatan/kuat tekan pada bata ringan dapat diperoleh dari proses penekanan pada bata ringan dengan cara memberi gaya tekan sedikit demi sedikit secara teratur terhadap sampel bata ringan dengan daya tekanan semaksimal mungkin sampai benda tersebut retak atau patah.

3.7 Metode Pengumpulan Data

Dalam proses pengumpulan data pada penelitian ini peneliti secara langsung melakukan beberapa percobaan di lapangan, penelitian ini diawali dengan peneliti mencetak sendiri sampel bata ringan yang merupakan objek dari penelitian. Data yang dihasilkan pada penelitian ini didapatkan dari beberapa pengujian.

3.8 Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dari penelitian ini selanjutnya akan dilakukan proses analisis dengan metode Respon Surface (RSM).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Rancangan Penelitian

Pada *Metode Response Surface* wilayah penelitiannya tidak hanya fokus pada 2 level saja, namun ada 3 tambahan level lainnya yang didapatkan dengan cara berikut ini :

$$X = \frac{f - \frac{1}{2}(f_{maks} + f_{min})}{\frac{1}{2}(f_{maks} - f_{min})} \quad X_1 = \frac{f - \frac{1}{2}(12,5 + 4,5)}{\frac{1}{2}(12,5 - 4,5)} = \frac{f - 8,5}{4}$$

$$X_2 = \frac{f - \frac{1}{2}(1 + 0,8)}{\frac{1}{2}(1 - 0,8)} = \frac{f - 0,9}{0,1}$$

Nilai level tengah/nilai pusat yang diteliti adalah untuk $X_1 = 8,5$; $X_2 = 0,9$, sedangkan untuk level pada titik aksialnya Jarak ke Pusat (α) = $2^{k/4}$, k adalah jumlah faktor ; sehingga $\alpha = 2^{2/4}$ maka nilai $\alpha = 1,41421$. Berikut ini adalah proses mencari nilai dalam rancangan eksperimennya :

$$X_1 = \frac{f - 8,5}{4} \quad f = 4X_1 + 8,5$$

$$X_1 = 1,41421 \quad f = 4(1,41421) + 8,5$$

$$f = 14,1569$$

$$X_1 = -1,41421 \quad f = 4(-1,41421) + 8,5$$

$$f = 2,8431$$

$$X_2 = \frac{f - 0,9}{0,1} \quad f = 0,1X_2 + 0,9$$

$$X_2 = 1,41421 \quad f = 0,1(1,41421) + 0,9$$

$$f = 1,04142$$

$$X_2 = -1,41421 \quad f = 0,1(-1,41421) + 0,9$$

$$f = 0,75858$$

Sehingga jika dibuatkan dalam 1 tabel, maka rancangan penelitiannya disajikan pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4. 1 Rancangan Penelitian Setelah Diketahui Variabel Pada Titik Aksial

No.	X_1 (Sekam Padi)	X_2 (Foam Agent)	Sekam Padi (X_1)	Foam Agent (X_2)
1.	-1	-1	4,5	0,8
2.	1	-1	12,5	0,8
3.	-1	1	4,5	1
4.	1	1	12,5	1
5.	-1,41421	0	2,8431	0,9
6.	1,41421	0	14,1569	0,9
7.	0	-1,41421	8,5	0,75858
8.	0	1,41421	8,5	1,04142
9.	0	0	8,5	0,9
10.	0	0	8,5	0,9
11.	0	0	8,5	0,9
12.	0	0	8,5	0,9
13.	0	0	8,5	0,9

sumber : Data perhitungan

4.2 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian RSM CCD dengan 2 faktor, faktor dalam penelitian ini yaitu sekam padi dan *foam agent*. Dalam proses produksi bata ringan perlu ada perbaikan dalam komposisi penyusun. Adapun dalam penelitian kali ini akan dilakukan 4 jenis pengujian yaitu uji densitas, uji daya serap air, uji daya serap panas dan uji kuat tekan.

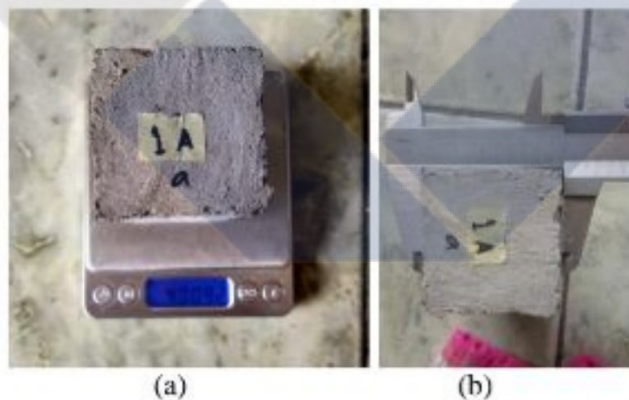
4.2.1 Pengambilan Data

Pada proses pengambilan data dalam penelitian kali ini sampel bata ringan yang digunakan sebanyak 13 sampel dengan 3 kali replikasi didapatkan 39 sampel. Gambar 4.1 merupakan hasil sampel bata ringan yang telah dicetak sesuai dengan rancangan penelitian.



Gambar 4. 1 Hasil sampel bata ringan dengan 3 kali replikasi

Langkah selanjutnya adalah dilakukan pengujian densitas pada sampel bata ringan untuk mendapatkan nilai berat jenis bata ringan setelah dicetak, hal ini dilakukan agar dapat mengetahui sampel mana yang beratnya paling ringan dan yang paling berat. Untuk mendapatkan nilai berat jenis bata ringan dilakukan dengan cara menimbang berat bata ringan setelah kemudian dibagi dengan volume bata ringan. Berikut ini merupakan proses penimbangan bata ringan setelah dicetak dan pengukuran volume bata ringan dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 (a) Penimbangan dan (b) pengukuran volume sampel bata ringan sesudah dibuka dari cetakan

setelah didapatkan nilai berat dan volume bata ringan kemudian dihitung dengan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{365,91 \text{ gr}}{281,112 \text{ cm}^3} = 1,30 \text{ gr/cm}^3$$

4.2.2 Hasil Densitas

Berdasarkan pengujian densitas yang telah dilakukan, didapatkan nilai densitas rata-rata sampel bata ringan dengan 3 kali replikasi. Berikut data hasil pengujian densitas dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Densitas

Kode Sampel	Persentase		Nilai Densitas			Rata-rata (gr/cm^3)
	Sekam Padi	Foam Agent	Sampel A (gr/cm^3)	Sampel B (gr/cm^3)	Sampel C (gr/cm^3)	
1.	4,5 %	0,8 %	1,45	1,43	1,58	1,49
2.	12,5 %	0,8 %	1,60	1,63	1,67	1,63
3.	4,5 %	1 %	1,45	1,50	1,36	1,44
4.	12,5 %	1 %	1,56	1,48	1,30	1,45
5.	2,8 %	0,9 %	1,68	1,70	1,48	1,62
6.	14,2 %	0,9 %	1,61	1,48	1,53	1,54
7.	8,5 %	0,76 %	1,71	1,67	1,74	1,71
8.	8,5 %	1,04 %	1,68	1,77	1,61	1,69
9.	8,5 %	0,9 %	1,75	1,72	1,57	1,68
10.	8,5 %	0,9 %	1,74	1,77	1,73	1,75
11.	8,5 %	0,9 %	1,37	1,33	1,59	1,43
12.	8,5 %	0,9 %	1,62	1,56	1,66	1,61
13.	8,5 %	0,9 %	1,55	1,59	1,54	1,56

sumber : Data perhitungan

Berdasarkan tabel 4.2 diatas didapatkan hasil pengujian densitas menggunakan rancangan penelitian *Respon Surface Methode*, maka nilai uji densitas terbaik terdapat pada sampel ke 11 dengan persentase sekam padi sebanyak 8,5 % dan persentase *foam agent* sebanyak 0,9 % didapatkan hasil uji densitas pada sampel A sebesar $1,37 gr/cm^3$, pada sampel B sebesar $1,33 gr/cm^3$ dan pada sampel C sebesar $1,59 gr/cm^3$ dengan nilai densitas rata-rata sebesar $1,43 gr/cm^3$.

4.3 Hasil Daya Serap Panas



(a) (b)

Gambar 4. 3 (a) Proses pengujian daya serap panas dan (b) pengukuran suhu sampel bata ringan

Berdasarkan pengujian daya serap panas yang telah dilakukan, didapatkan nilai uji daya serap panas sampel bata ringan. Berikut data hasil pengujian daya serap panas dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Daya Serap Panas

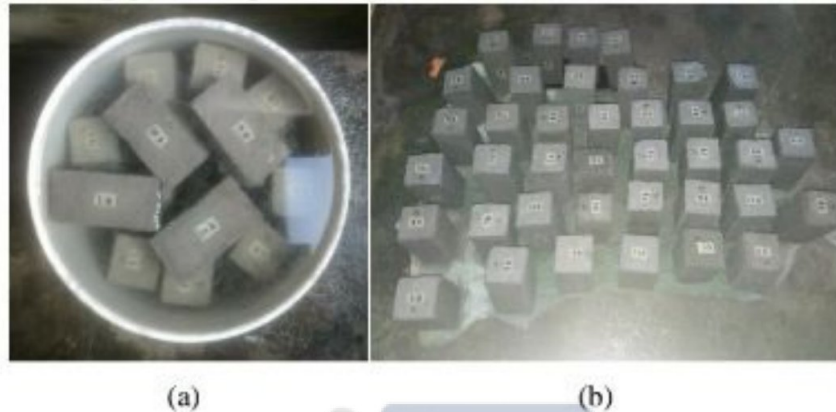
No	Hasil Pengujian Daya Serap Panas											
	Suhu Awal (°C)			10 Menit (°C)			20 Menit (°C)			30 Menit (°C)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1.	27,6	26,2	26,7	79,5	79,1	78,1	96,5	91,9	96,8	173,7	153,8	118,6
2.	26,9	27,0	27,2	80,3	79,2	78,1	85,3	90,0	88,7	170,0	165,0	120,3
3.	26,2	26,4	27,3	81,5	82,0	79,7	90,5	87,7	89,5	169,3	152,1	130,0
4.	26,6	27,4	26,6	80,2	78,6	77,4	86,1	97,0	95,4	145,2	149,7	115,7
5.	26,5	26,3	26,1	78,3	77,9	80,5	89,8	88,4	95,3	169,8	160,5	135,5
6.	27,6	27,6	27,4	79,9	79,1	80,3	81,7	90,1	97,0	154,7	133,1	124,6
7.	26,9	26,8	26,5	77,0	76,8	81,2	95,4	87,2	93,1	170,6	170,9	164,4
8.	26,1	26,5	26,6	79,0	80,2	76,5	93,7	97,6	87,9	139,9	145,2	129,7
9.	26,1	26,5	26,7	80,5	79,1	77,9	94,5	98,0	86,6	140,0	166,2	155,3
10.	26,4	26,7	26,5	79,1	77,5	76,6	90,1	90,7	91,2	139,3	154,3	147,0
11.	26,6	27,3	26,9	78,8	80,5	76,9	87,9	92,4	89,0	150,0	137,4	166,4

12.	26,7	26,4	26,4	76,7	81,2	79,7	98,3	90,9	97,3	163,7	144,4	155,7
13.	26,5	26,4	26,2	79,4	80,8	78,9	93,2	89,9	94,0	153,6	141,0	139,8

sumber : Data perhitungan

Berdasarkan tabel 4.3 diatas didapatkan hasil pengujian daya serap panas menggunakan rancangan penelitian *Respon Surface Methode*, maka nilai uji daya serap panas terbaik terdapat pada sampel ke 8 dengan persentase sekam padi sebanyak 8,5 % dan persentase *foam agent* sebanyak 1,04 % didapatkan hasil uji daya serap panas pada suhu awal sampel sebesar 26 - 27°C yang kemudian meningkat hingga mencapai suhu 130 - 145°C setelah di oven selama 30 menit. Pada tabel diatas dapat dilihat terdapat selisih sebesar 119°C yang didapatkan dari suhu awal terendah hingga suhu akhir tertinggi sampel 8. Sampel bata ringan yang telah di oven dengan suhu sebesar 500 °C selama 30 menit tidak mengalami kerusakan fisik. Jika dilihat dari hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa bata ringan berbahan tambah sekam padi merupakan bahan bangunan yang mengalami serapan panas yang cukup lambat, hal ini menunjukkan bata ringan berbahan tambah sekam padi jika diaplikasikan sebagai dinding bangunan sangat baik karena dapat meredam panas/radiasi matahari dari lingkungan luar masuk ke dalam ruangan. Dapat memberikan kenyamanan bagi para penghuni rumah dan jika seandainya terjadi kebakaran maka panas yang dihasilkan oleh kebakaran tadi akan lambat merambat ke dinding yang belum terbakar.

4.4 Hasil Pengujian Serap Air



Gambar 4. 4 (a) Proses pengujian daya serap air dan (b) Sampel hasil pengujian daya serap air

setelah didapatkan nilai berat basah sampel bata ringan kemudian didapatkan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$\text{Daya serap air (\%)} = \frac{(454,14 - 467,76)}{423,89} \times 100 \% = 3,00 \%$$

Berdasarkan pengujian daya serap air yang dilakukan, didapatkan nilai uji daya serap air rata-rata sampel bata ringan. Berikut data hasil pengujian daya serap air disajikan pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Daya Serap Air

Kode Sampel	Persentase		Nilai Daya Serap Air			Rata-rata
	Sekam Padi	Foam Agent	Sampel A (%)	Sampel B (%)	Sampel C (%)	
1.	4,5 %	0,8 %	13,92	7,75	7,10	9,59
2.	12,5 %	0,8 %	11,00	7,60	8,81	9,14
3.	4,5 %	1 %	9,27	5,83	8,83	7,98
4.	12,5 %	1 %	5,56	10,65	9,09	8,43
5.	2,8 %	0,9 %	4,11	6,30	7,95	6,12
6.	14,2 %	0,9 %	8,09	10,59	10,79	9,82
7.	8,5 %	0,76 %	7,52	7,75	6,51	7,26

8.	8,5 %	1,04 %	6,69	6,52	7,88	7,03
9.	8,5 %	0,9 %	6,83	6,19	8,52	7,18
10.	8,5 %	0,9 %	7,18	7,34	7,77	7,43
11.	8,5 %	0,9 %	8,50	12,06	7,88	9,48
12.	8,5 %	0,9 %	3,01	3,00	4,53	3,51
13.	8,5 %	0,9 %	3,99	3,74	5,47	4,40

sumber : Data perhitungan

Berdasarkan tabel 4.4 diatas didapatkan hasil pengujian daya serap air menggunakan rancangan penelitian *Respon Surface Metode*, maka nilai uji daya serap air terbaik terdapat pada sampel ke 12 yaitu persentase sekam padi sebanyak 8,5 % dan persentase *foam agent* sebanyak 0,9 % didapatkan hasil uji daya serap air pada sampel A sebesar 3,01 %, pada sampel B sebesar 3,00 % dan pada sampel C sebesar 4,53 % dengan nilai daya serap air rata-rata sebesar 3,51 %.

4.3.1 Analisis Varian (ANOVA)

Selanjutnya data hasil uji daya serap air yang diperoleh akan dilakukan Analisis Varian (ANOVA) untuk mengetahui apakah variabel bebas (faktor persentase sekam padi dan *foam agent*) berpengaruh atau tidak terhadap variabel terikat (respon daya serap air).

Tabel 4. 5 Tabel Penolong Hitungan Anova 1

No.	X_1	X_2	Y	$Y_i = Y_i - \bar{Y}$	$X_{1i} = X_{1i} - \bar{X}_1$	$X_{2i} = X_{2i} - \bar{X}_2$	Y_i^2
1.	4,5	0,8	13,92	6,43	-4,00	-0,10	41,34
2.	12,5	0,8	11,00	3,51	4,00	-0,10	12,32
3.	4,5	1	9,27	1,78	-4,00	0,10	3,17
4.	12,5	1	5,56	-1,93	4,00	0,10	3,73
5.	2,8	0,9	4,11	-3,38	-5,70	0,00	11,43
6.	14,2	0,9	8,09	0,60	5,70	0,00	0,36
7.	8,5	0,76	7,52	0,03	0,00	-0,14	0,00
8.	8,5	1,04	6,69	-0,80	0,00	0,14	0,64
9.	8,5	0,9	6,83	-0,66	0,00	0,00	0,44

10.	8,5	0,9	7,18	-0,31	0,00	0,00	0,10
11.	8,5	0,9	8,50	1,01	0,00	0,00	1,02
12.	8,5	0,9	3,01	-4,48	0,00	0,00	20,07
13.	8,5	0,9	3,99	-3,50	0,00	0,00	12,25
14.	4,5	0,8	7,75	0,26	-4,00	-0,10	0,07
15.	12,5	0,8	7,60	0,11	4,00	-0,10	0,01
16.	4,5	1	5,83	-1,66	-4,00	0,10	2,76
17.	12,5	1	10,65	3,16	4,00	0,10	9,98
18.	2,8	0,9	6,30	-1,19	-5,70	0,00	1,42
19.	14,2	0,9	10,59	3,10	5,70	0,00	9,61
20.	8,5	0,76	7,75	0,26	0,00	-0,14	0,07
21.	8,5	1,04	6,52	-0,97	0,00	0,14	0,94
22.	8,5	0,9	6,19	-1,30	0,00	0,00	1,69
23.	8,5	0,9	7,34	-0,15	0,00	0,00	0,02
24.	8,5	0,9	12,06	4,57	0,00	0,00	20,88
25.	8,5	0,9	3,00	-4,49	0,00	0,00	20,16
26.	8,5	0,9	3,74	-3,75	0,00	0,00	14,06
27.	4,5	0,8	7,10	-0,39	-4,00	-0,10	0,15
28.	12,5	0,8	8,81	1,32	4,00	-0,10	1,74
29.	4,5	1	8,83	1,34	-4,00	0,10	1,79
30.	12,5	1	9,09	1,60	4,00	0,10	2,56
31.	2,8	0,9	7,95	0,46	-5,70	0,00	0,21
32.	14,2	0,9	10,79	3,30	5,70	0,00	10,89
33.	8,5	0,76	6,51	-0,98	0,00	-0,14	0,96
34.	8,5	1,04	7,88	0,39	0,00	0,14	0,15
35.	8,5	0,9	8,52	1,03	0,00	0,00	1,06
36.	8,5	0,9	7,77	0,28	0,00	0,00	0,08
37.	8,5	0,9	7,88	0,39	0,00	0,00	0,15
38.	8,5	0,9	4,53	-2,96	0,00	0,00	8,76
39.	8,5	0,9	5,47	-2,02	0,00	0,00	4,08

Sum	331,5	35,1	292,12	0,00	0,00	0,00	221,13
-----	-------	------	--------	------	------	------	--------

sumber : Data perhitungan

Tabel 4. 6 Tabel Penolong Hitungan Anova 2

X_{1t}^2	X_{2t}^2	$Y_t X_{1t}$	$Y_t X_{2t}$	$X_{1t} X_{2t}$	Y^2
16,00	0,01	-25,72	-0,64	0,40	193,77
16,00	0,01	14,04	-0,35	-0,40	121,00
16,00	0,01	-7,12	0,18	-0,40	85,93
16,00	0,01	-7,72	-0,19	0,40	30,91
32,49	0,00	19,27	0,00	0,00	16,89
32,49	0,00	3,42	0,00	0,00	65,45
0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	56,55
0,00	0,02	0,00	-0,11	0,00	44,76
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,65
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,55
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,06
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,92
16,00	0,01	-1,04	-0,03	0,40	60,06
16,00	0,01	0,44	-0,01	-0,40	57,76
16,00	0,01	6,64	-0,17	-0,40	33,99
16,00	0,01	12,64	0,32	0,40	113,42
32,49	0,00	6,78	0,00	0,00	39,69
32,49	0,00	17,67	0,00	0,00	112,15
0,00	0,02	0,00	-0,04	0,00	60,06
0,00	0,02	0,00	-0,14	0,00	42,51
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,32
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,88
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	145,44
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,99

16,00	0,01	1,56	0,04	0,40	50,41
16,00	0,01	5,28	-0,13	-0,40	77,62
16,00	0,01	-5,36	0,13	-0,40	77,97
16,00	0,01	6,40	0,16	0,40	82,63
32,49	0,00	-2,62	0,00	0,00	63,20
32,49	0,00	18,81	0,00	0,00	116,42
0,00	0,02	0,00	0,14	0,00	42,38
0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	62,09
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,59
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,37
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,09
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,52
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,92
386,94	0,24	63,37	-0,79	0,00	2409,18

sumber : Data perhitungan

$$\begin{aligned} \sum X_1 &= 331,5 & \sum X_2 &= 35,1 & \sum Y &= 292,12 & \sum Y_i &= 0,000 & \sum X_{1i} &= 0,000 \\ \sum X_{2i} &= 0,000 & \sum Y_i^2 &= 221,13 & \sum X_1^2 &= 386,94 & \sum X_2^2 &= 0,24 & \sum Y_i X_{1i} &= 63,37 \\ & & \sum Y_i X_{2i} &= -0,79 & \sum X_{1i} X_{2i} &= 0,000 & \sum Y^2 &= 2409,18 \end{aligned}$$

Menghitung anova menggunakan persamaan linier berganda, berikut ini perhitungan untuk komponen yang diperlukan dalam hitungan anova :

$$a. \quad B_1 = \frac{\sum X_1 Y \cdot \sum X_2^2 - \sum X_2 Y \cdot \sum X_1 X_2}{\sum X_1^2 \cdot \sum X_2^2 - (\sum X_1 X_2)^2} = \frac{63,37 \cdot 0,24 - (-0,79) \cdot 0,00}{386,94 \cdot 0,24 - (0,00)^2} = \frac{15,056}{91,937} = 0,164$$

$$B_2 = \frac{\sum X_2 Y \cdot \sum X_1^2 - \sum X_1 Y \cdot \sum X_1 X_2}{\sum X_1^2 \cdot \sum X_2^2 - (\sum X_1 X_2)^2} = \frac{-0,79 \cdot 386,94 - 63,37 \cdot 0,00}{386,94 \cdot 0,24 - (0,00)^2} = \frac{-306,3017}{91,937} = -3,332$$

$$B_0 = \bar{Y} - B_1 \bar{X}_1 - B_2 \bar{X}_2 = 7,490 - 0,164 \cdot 8,5 - (-3,332) \cdot 0,9 = 9,097$$

$$b. \quad R^2 = \frac{B_1 (\sum X_1 Y) + B_2 (\sum X_2 Y)}{\sum Y^2} = \frac{0,164 \cdot 63,37 + (-3,332) \cdot (-0,79)}{2409,18} = 0,005402$$

$$c. \quad \hat{Y} = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2$$

Tabel 4. 7 Tabel Penolong Hitungan Anova 3

\bar{Y}	$\bar{Y}-\bar{Y}$	$(\bar{Y}-\bar{Y})^2$	$Y_i-\bar{Y}$	$(Y_i-\bar{Y})^2$	$(Y_i-\bar{Y})^2$
7,169	-0,322	0,103	-0,739	0,546	41,342
8,479	0,988	0,977	-4,969	24,691	12,318
6,502	-0,988	0,976	-4,723	22,302	3,167
7,812	0,322	0,104	-9,743	94,919	3,726
6,557	-0,933	0,871	-9,937	98,750	11,426
8,424	0,934	0,872	-7,824	61,218	0,360
7,957	0,467	0,218	-7,927	62,840	0,001
7,024	-0,466	0,217	-7,824	61,220	0,640
7,491	0,000	0,000	-8,151	66,435	0,436
7,491	0,000	0,000	-7,801	60,852	0,096
7,491	0,000	0,000	-6,481	42,000	1,020
7,491	0,000	0,000	-11,971	143,299	20,073
7,491	0,000	0,000	-10,991	120,797	12,252
7,169	-0,322	0,103	-6,909	47,733	0,067
8,479	0,988	0,977	-8,369	70,040	0,012
6,502	-0,988	0,976	-8,163	66,627	2,756
7,812	0,322	0,104	-4,653	21,647	9,984
6,557	-0,933	0,871	-7,747	60,021	1,417
8,424	0,934	0,872	-5,324	28,347	9,608
7,957	0,467	0,218	-7,697	59,247	0,067
7,024	-0,466	0,217	-7,994	63,909	0,941
7,491	0,000	0,000	-8,791	77,278	1,691
7,491	0,000	0,000	-7,641	58,381	0,023
7,491	0,000	0,000	-2,921	8,531	20,883
7,491	0,000	0,000	-11,981	143,539	20,162
7,491	0,000	0,000	-11,241	126,355	14,064
7,169	-0,322	0,103	-7,559	57,137	0,152
8,479	0,988	0,977	-7,159	51,251	1,742

6,502	-0,988	0,976	-5,163	26,652	1,795
7,812	0,322	0,104	-6,213	38,597	2,559
6,557	-0,933	0,871	-6,097	37,177	0,211
8,424	0,934	0,872	-5,124	26,258	10,888
7,957	0,467	0,218	-8,937	79,873	0,961
7,024	-0,466	0,217	-6,634	44,014	0,152
7,491	0,000	0,000	-6,461	41,741	1,060
7,491	0,000	0,000	-7,211	51,995	0,078
7,491	0,000	0,000	-7,101	50,421	0,152
7,491	0,000	0,000	-10,451	109,218	8,763
7,491	0,000	0,000	-9,511	90,455	4,081
292,130	0,010	13,015	-292,130	2396,316	221,129

sumber :Data perhitungan

$$\sum \hat{Y} = 292,130 \quad \sum \hat{Y} - \bar{Y} = 0,010 \quad \sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2 = 13,015 \quad \sum Y_i - \bar{Y} = -292,130$$

$$\sum (Y_i - \hat{Y})^2 = 2396,316 \quad \sum (Y_i - \bar{Y})^2 = 221,129$$

Mencari derajat kebebasan :

$$df_R = k = 2$$

$$df_E = n - k - 1 = 39 - 2 - 1 = 36$$

$$df_L = p = 2$$

$$df_{PE} = \sum(n - 1) = 39 - 1 = 38$$

$$df_T = n - 1 = 38$$

Mencari jumlah kuadrat :

$$SS_R = \sum(\hat{Y}_{ij} - \bar{Y})^2 = 13,015$$

$$SS_E = \sum(Y_{ij} - \hat{Y})^2 = 2396,316$$

$$SS_{PE} = \sum(Y_{ij} - \bar{Y})^2 = 221,129$$

$$SS_L = SS_E + SS_{PE} = 2396,316 + 221,129 = 2617,445$$

$$SS_T = SS_R + SS_E = 13,015 + 2396,316 = 2409,331$$

Mencari rata-rata jumlah kuadrat :

$$MS_R = \frac{SS_R}{df_R} = \frac{13,015}{2} = 6,508$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{df_E} = \frac{2396,316}{36} = 66,564$$

$$MS_{PE} = \frac{SS_{PE}}{df_{PE}} = \frac{221,129}{2} = 110,565$$

$$MS_L = \frac{SS_L}{df_L} = \frac{2617,445}{38} = 68,880$$

Mencari Fhitung :

$$F_{hitung\ reg} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{6,508}{66,564} = 0,098$$

$$F_{hitung\ lack\ of\ fit} = \frac{MS_L}{MS_{PE}} = \frac{68,880}{110,565} = 0,623$$

Kemudian akan dilakukan analisis varian dua arah (2 variabel bebas) yang terdiri dari sumber variansi, derajat kebebasan , jumlah kuadrat , rata-rata kuadrat, Fhitung seperti pada Tabel 4.8 dibawah ini :

Tabel 4. 8 ANOVA Pengujian Daya Serap Air

Sumber Variansi	Dk	Jumlah Kuadrat	Rata-rata Kuadrat	Fhitung
Regresi	2	13,015	6,508	0,098
Residual error	36	2396,316	66,564	-
Lack-of-Fit	2	2617,445	68,880	0,623
Pure Error	38	221,129	110,565	-
Total	38	2409,331	-	-

Ftabel : $df_1 = 2$, $df_2 = 37$ dengan $\alpha = 0,05$, maka $f_{tabel} = 3,25$

Dilihat dari tabel diatas diperoleh fhitung sebesar 0,098 maka dapat disimpulkan bahwa Fhitung < Ftabel berarti H_0 diterima yang menyatakan tidak ada lack of fit atau dengan kata lain modelnya cocok/sesuai.

4.3.2 Optimasi Respon Daya Serap Air

$$\vec{b} = (X^t X)^{-1} (X^t Y)$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & -1,0000 & -1,0000 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1,0000 & -1,0000 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1,0000 & 1,0000 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1,0000 & 1,0000 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1,4142 & 0,0000 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1,4142 & 0,0000 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & -1,4142 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 1,4142 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} 9,59 \\ 9,14 \\ 7,98 \\ 8,43 \\ 6,12 \\ 9,82 \\ 7,26 \\ 7,03 \\ 7,18 \\ 7,43 \\ 9,48 \\ 3,51 \\ 4,40 \end{pmatrix}$$

$$X^t = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1,0000 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1,4142 & 1,4142 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 0,0000 & 0,0000 & -1,4142 & 1,4142 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 2,0000 & 2,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0,0000 & 0,0000 & 2,0000 & 2,0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$X^t \cdot X = \begin{pmatrix} 13 & 0,00000 & 0,00000 & 8 & 8 & 0 \\ 0 & 7,99992 & 0,00000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,00000 & 7,99992 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 0,00000 & 0,00000 & 12 & 4 & 0 \\ 8 & 0,00000 & 0,00000 & 4 & 12 & 0 \\ 0 & 0,00000 & 0,00000 & 0 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

$$(X^t \cdot X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,00000 & 0,00000 & -0,10000 & -0,10000 & 0,00 \\ 0,0 & 0,125001 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00 \\ 0,0 & 0,00000 & 0,125001 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00 \\ -0,1 & 0,00000 & 0,00000 & 0,14375 & 0,01875 & 0,00 \\ -0,1 & 0,00000 & 0,00000 & 0,01875 & 0,14375 & 0,00 \\ 0,0 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00000 & 0,25 \end{pmatrix}$$

$$X^t \cdot Y = \begin{pmatrix} 97,37 \\ 5,23254 \\ -2,645266 \\ 67,02 \\ 63,72 \\ 0,9 \end{pmatrix} \quad \vec{b} = (X^t \cdot X)^{-1} (X^t \cdot Y) = \begin{pmatrix} 6,400 \\ 0,654 \\ -0,331 \\ 1,092 \\ 0,679 \\ 0,22 \end{pmatrix}$$

Sehingga diperoleh persamaan second ordernya sebagai berikut :

$$Y = 6,4 + 0,654 X_1 - 0,331 X_2 + 1,092 x_1^2 + 0,679 x_2^2 + 0,22 X_1 X_2$$

Kemudian koefisien dari masing-masing regresi dari model diubah menjadi hitungan matriks, hal ini dilakukan untuk menentukan nilai optimum dalam proses produksi bata ringan. Pada langkah berikut ini akan dilakukan perkalian dan invers matriks :

$$x_0 = -\frac{1}{2} B^{-1}b$$

$$x_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \beta_{11} & \frac{1}{2} \beta_{12} \\ \frac{1}{2} \beta_{12} & \beta_{22} \end{bmatrix} - 1 \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix}$$

$$x_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1,092 & \frac{0,22}{2} \\ \frac{0,22}{2} & 0,679 \end{bmatrix} - 1 \begin{bmatrix} 0,654 \\ -0,331 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,330 \\ 0,298 \end{bmatrix}$$

Penentuan nilai optimum persentase sekam padi (x_1) dan *foam agent* (x_2)

$$\text{Sekam Padi} = 4x_1 + 8,5$$

$$\text{Foam Agent} = 0,1x_2 + 0,9$$

$$\text{Sekam Padi} = 4(-0,33) + 8,5$$

$$\text{Foam Agent} = 0,1(0,298) + 0,9$$

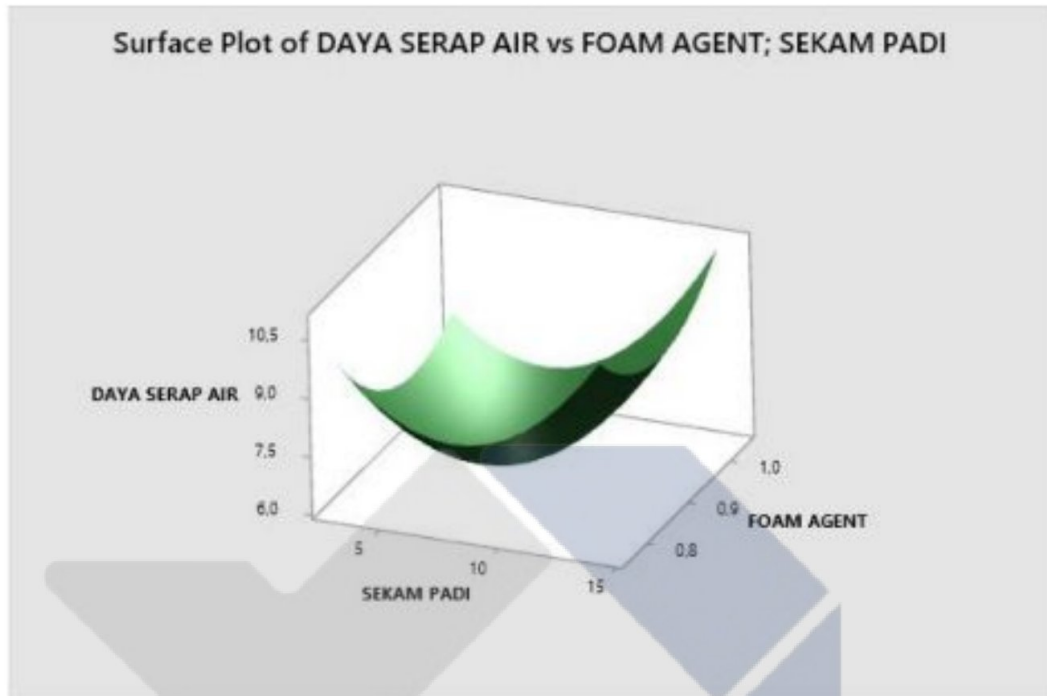
$$\text{Sekam Padi} = 7,18 \%$$

$$\text{Foam Agent} = 0,93 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan hasil persentase faktor yang mempengaruhi proses produksi bata ringan nilai optimum dari faktor persentase sekam padi sebesar 7,18 % dan nilai optimum dari faktor persentase *foam agent* sebesar 0,93 %.

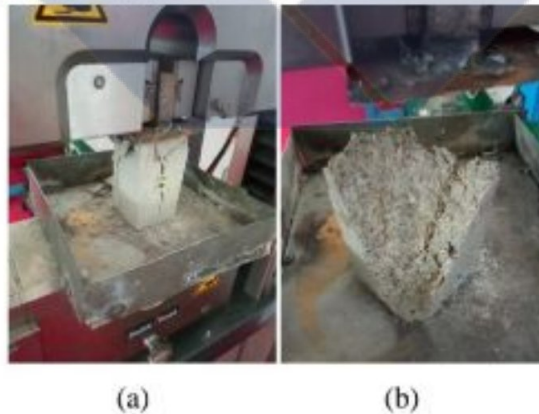
4.3.3 Surface Plot Daya Serap Air

Berdasarkan hasil kurva dibawah dengan respon daya serap air vs *foam agent* dan sekam padi menunjukkan bahwa penambahan sekam padi dan *foam agent* sangat berpengaruh terhadap nilai daya serap air bata ringan, terlihat pada gambar 4.5 semakin banyak penambahan sekam padi dan *foam agent* bata ringan maka nilai daya serap air juga semakin tinggi hal ini disebabkan karena lebih banyak pori-pori yang ada sehingga menyebabkan bata ringan mudah menyerap air.



Gambar 4. 5 Surface plot daya serap air
sumber :Aplikasi analisis

4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan



Gambar 4. 6 (a) Proses pengujian kuat tekan dan (b) sampel hasil pengujian kuat tekan

Berdasarkan pengujian kuat tekan yang dilakukan, didapatkan nilai uji kuat tekkan rata-rata sampel bata ringan. Berikut data hasil pengujian kuat tekan disajikan pada tabel 4.9

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kode Sampel	Persentase		Nilai Kuat Tekan			Rata-rata (kg/cm^2)
	Sekam Padi	Foam Agent	Sampel A (kg/cm^2)	Sampel B (kg/cm^2)	Sampel C (kg/cm^2)	
1.	4,5 %	0,8 %	12,54	66,59	48,23	42,45
2.	12,5 %	0,8 %	29,47	34,16	49,15	37,59
3.	4,5 %	1 %	48,13	39,36	55,27	47,59
4.	12,5 %	1 %	13,15	15,81	16,52	15,16
5.	2,8 %	0,9 %	36,51	36	11,52	28,01
6.	14,2 %	0,9 %	43,13	46,91	47,11	45,72
7.	8,5 %	0,76 %	34,16	42,83	41,4	39,46
8.	8,5 %	1,04 %	43,54	64,14	32,43	46,70
9.	8,5 %	0,9 %	26,61	54,25	55,68	45,51
10.	8,5 %	0,9 %	45,89	50,27	36	44,05
11.	8,5 %	0,9 %	20,09	35,08	42,73	32,63
12.	8,5 %	0,9 %	15,4	62,81	41,2	39,80
13.	8,5 %	0,9 %	62,71	51,19	48,23	54,04

sumber :Data perhitungan

Berdasarkan tabel 4.9 diatas didapatkan hasil pengujian kuat tekan menggunakan rancangan penelitian *Respon Surface Metode*, maka nilai uji kuat tekan terbaik terdapat pada sampel ke 13 yaitu persentase sekam padi sebanyak 8,5 % dan persentase *foam agent* sebanyak 0,9 % didapatkan hasil uji kuat tekan pada sampel A sebesar 62,71 kg/cm^2 , pada sampel B sebesar 51,19 kg/cm^2 dan pada sampel C sebesar 48,23 kg/cm^2 dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 54,04 kg/cm^2 .

4.4.1 Analisis Varian (ANOVA)

Selanjutnya data hasil uji daya serap air yang diperoleh akan dilakukan Analisis Varian (ANOVA) untuk mengetahui apakah variabel bebas (faktor persentase sekam padi dan *foam agent*) berpengaruh atau tidak terhadap variabel terikat (respon kuat tekan).

Tabel 4. 10 Tabel Penolong Hitungan Anova 4

No.	X_1	X_2	Y	$Y_i = Y_i - \bar{Y}$	$X_{1i} = X_{1i} - \bar{X}_1$	$X_{2i} = X_{2i} - \bar{X}_2$	Y_i^2
1.	4,5	0,8	12,54	-27,373	-4,000	-0,100	749,285
2.	12,5	0,8	29,47	-10,443	4,000	-0,100	109,058
3.	4,5	1	48,13	8,217	-4,000	0,100	67,518
4.	12,5	1	13,15	-26,763	4,000	0,100	716,262
5.	2,8	0,9	36,51	-3,403	-5,700	0,000	11,581
6.	14,2	0,9	43,13	3,217	5,700	0,000	10,349
7.	8,5	0,76	34,16	-5,753	0,000	-0,140	33,098
8.	8,5	1,04	43,54	3,627	0,000	0,140	13,155
9.	8,5	0,9	26,61	-13,303	0,000	0,000	176,972
10.	8,5	0,9	45,89	5,977	0,000	0,000	35,724
11.	8,5	0,9	20,09	-19,823	0,000	0,000	392,954
12.	8,5	0,9	15,4	-24,513	0,000	0,000	600,891
13.	8,5	0,9	62,71	22,797	0,000	0,000	519,700
14.	4,5	0,8	66,59	26,677	-4,000	-0,100	711,658
15.	12,5	0,8	34,16	-5,753	4,000	-0,100	33,098
16.	4,5	1	39,36	-0,553	-4,000	0,100	0,306
17.	12,5	1	15,81	-24,103	4,000	0,100	580,958
18.	2,8	0,9	36	-3,913	-5,700	0,000	15,312
19.	14,2	0,9	46,91	6,997	5,700	0,000	48,957
20.	8,5	0,76	42,83	2,917	0,000	-0,140	8,508
21.	8,5	1,04	64,14	24,227	0,000	0,140	586,944
22.	8,5	0,9	54,25	14,337	0,000	0,000	205,547

23.	8,5	0,9	50,27	10,357	0,000	0,000	107,266
24.	8,5	0,9	35,08	-4,833	0,000	0,000	23,359
25.	8,5	0,9	62,81	22,897	0,000	0,000	524,269
26.	8,5	0,9	51,19	11,277	0,000	0,000	127,169
27.	4,5	0,8	48,64	8,727	-4,000	-0,100	76,159
28.	12,5	0,8	48,23	8,317	4,000	-0,100	69,171
29.	4,5	1	49,15	9,237	-4,000	0,100	85,321
30.	12,5	1	55,27	15,357	4,000	0,100	235,835
31.	2,8	0,9	16,52	-23,393	-5,700	0,000	547,236
32.	14,2	0,9	11,52	-28,393	5,700	0,000	806,167
33.	8,5	0,76	47,11	7,197	0,000	-0,140	51,796
34.	8,5	1,04	41,4	1,487	0,000	0,140	2,211
35.	8,5	0,9	32,43	-7,483	0,000	0,000	55,996
36.	8,5	0,9	55,68	15,767	0,000	0,000	248,596
37.	8,5	0,9	36	-3,913	0,000	0,000	15,312
38.	8,5	0,9	42,73	2,817	0,000	0,000	7,935
39.	8,5	0,9	41,2	1,287	0,000	0,000	1,656
Sum	331,5	35,1	1556,61	0,000	0,000	0,000	8613,29

sumber : Data perhitungan

Tabel 4. 11 Tabel Penolong Hitungan Anova 5

X_{1i}^2	X_{2i}^2	$Y_i X_{1i}$	$Y_i X_{2i}$	$X_{1i} X_{2i}$	Y^2
16,000	0,010	109,492	2,737	0,400	157,252
16,000	0,010	-41,772	1,044	-0,400	868,481
16,000	0,010	-32,868	0,822	-0,400	2316,497
16,000	0,010	-107,052	-2,676	0,400	172,923
32,490	0,000	19,398	0,000	0,000	1332,980
32,490	0,000	18,336	0,000	0,000	1860,197
0,000	0,020	0,000	0,805	0,000	1166,906
0,000	0,020	0,000	0,508	0,000	1895,732
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	708,092

0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2105,892
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	403,608
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	237,160
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3932,544
16,000	0,010	-106,708	-2,668	0,400	4434,228
16,000	0,010	-23,012	0,575	-0,400	1166,906
16,000	0,010	2,212	-0,055	-0,400	1549,210
16,000	0,010	-96,412	-2,410	0,400	249,956
32,490	0,000	22,305	0,000	0,000	1296,000
32,490	0,000	39,882	0,000	0,000	2200,548
0,000	0,020	0,000	-0,408	0,000	1834,409
0,000	0,020	0,000	3,392	0,000	4113,940
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2943,063
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2527,073
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1230,606
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3945,096
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2620,416
16,000	0,010	-34,908	-0,873	0,400	2365,850
16,000	0,010	33,268	-0,832	-0,400	2326,133
16,000	0,010	-36,948	0,924	-0,400	2415,723
16,000	0,010	61,428	1,536	0,400	3054,773
32,490	0,000	133,341	0,000	0,000	272,910
32,490	0,000	-161,841	0,000	0,000	132,710
0,000	0,020	0,000	-1,008	0,000	2219,352
0,000	0,020	0,000	0,208	0,000	1713,960
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1051,705
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3100,262
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1296,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1825,853
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1697,440

386,940	0,238	-201,859	1,621	0,000	70742,384
---------	-------	----------	-------	-------	-----------

sumber : Data perhitungan

$$\begin{aligned} \sum X_1 &= 331,5 \quad \sum X_2 = 35,1 \quad \sum Y = 1556,61 \quad \sum Y_i = 0,000 \quad \sum X_{1i} = 0,000 \\ \sum X_{2i} &= 0,000 \quad \sum Y_i^2 = 8613,289 \quad \sum X_1^2 = 386,940 \quad \sum X_2^2 = 0,238 \quad \sum Y_i X_{1i} = -201,859 \\ \sum Y_i X_{2i} &= 1,621 \quad \sum X_{1i} X_{2i} = 0,000 \quad \sum Y^2 = 70742,384 \end{aligned}$$

Menghitung anova menggunakan persamaan linier berganda, berikut ini perhitungan untuk komponen yang diperlukan dalam hitungan anova :

$$\begin{aligned} \text{a. } B_1 &= \frac{\sum X_1 Y \cdot \sum X_2^2 - \sum X_2 Y \cdot \sum X_1 X_2}{\sum X_1^2 \cdot \sum X_2^2 - (\sum X_1 X_2)^2} = \frac{-201,859 \cdot 0,238 - 1,621 \cdot 0,000}{386,940 \cdot 0,238 - (0,000)^2} = \frac{-47,962}{386,702} \\ &= -0,124 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_2 &= \frac{\sum X_2 Y \cdot \sum X_1^2 - \sum X_1 Y \cdot \sum X_1 X_2}{\sum X_1^2 \cdot \sum X_2^2 - (\sum X_1 X_2)^2} = \frac{1,621 \cdot 386,940 - (-201,859) \cdot 0,000}{386,940 \cdot 0,238 - (0,000)^2} = \frac{627,307}{91,937} \\ &= 6,823 \end{aligned}$$

$$B_0 = \bar{Y} - B_1 \bar{X}_1 - B_2 \bar{X}_2 = 39,913 - (-0,124) \cdot 8,5 - 6,823 \cdot 0,9 = 34,826$$

$$\text{b. } R^2 = \frac{B_1 (\sum X_1 Y) + B_2 (\sum X_2 Y)}{\sum Y^2} = \frac{-0,124 \cdot (-201,859) + 6,823 \cdot 1,621}{70742,384} = 0,00051$$

$$\text{c. } \hat{Y} = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2$$

Tabel 4. 12 Tabel Penolong Hitungan Anova 6

\hat{Y}	$\hat{Y} - \bar{Y}$	$(\hat{Y} - \bar{Y})^2$	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(Y_i - \bar{Y})^2$
6,941	-32,972	1087,148	-34,314	1177,466	749,285
8,792	-31,122	968,548	-19,235	369,972	109,058
6,234	-33,679	1134,275	1,983	3,932	67,518
8,084	-31,829	1013,058	-34,848	1214,353	716,262
6,194	-33,719	1136,949	-9,597	92,112	11,581
8,831	-31,082	966,080	-5,614	31,521	10,349
8,008	-31,905	1017,948	-13,761	189,361	33,098
7,018	-32,895	1082,094	-3,391	11,499	13,155
7,513	-32,400	1049,776	-20,816	433,302	176,972
7,513	-32,400	1049,776	-1,536	2,359	35,724

7,513	-32,400	1049,776	-27,336	747,251	392,954
7,513	-32,400	1049,776	-32,026	1025,658	600,891
7,513	-32,400	1049,776	15,284	233,604	519,700
6,941	-32,972	1087,148	19,736	389,501	711,658
8,792	-31,122	968,548	-14,545	211,547	33,098
6,234	-33,679	1134,275	-6,787	46,066	0,306
8,084	-31,829	1013,058	-32,188	1036,040	580,958
6,194	-33,719	1136,949	-10,107	102,161	15,312
8,831	-31,082	966,080	-1,834	3,365	48,957
8,008	-31,905	1017,948	-5,091	25,917	8,508
7,018	-32,895	1082,094	17,209	296,151	586,944
7,513	-32,400	1049,776	6,824	46,568	205,547
7,513	-32,400	1049,776	2,844	8,089	107,266
7,513	-32,400	1049,776	-12,346	152,421	23,359
7,513	-32,400	1049,776	15,384	236,671	524,269
7,513	-32,400	1049,776	3,764	14,168	127,169
6,941	-32,972	1087,148	1,786	3,189	76,159
8,792	-31,122	968,548	-0,475	0,225	69,171
6,234	-33,679	1134,275	3,003	9,017	85,321
8,084	-31,829	1013,058	7,272	52,888	235,835
6,194	-33,719	1136,949	-29,587	875,419	547,236
8,831	-31,082	966,080	-37,224	1385,650	806,167
8,008	-31,905	1017,948	-0,811	0,657	51,796
7,018	-32,895	1082,094	-5,531	30,591	2,211
7,513	-32,400	1049,776	-14,996	224,877	55,996
7,513	-32,400	1049,776	8,254	68,130	248,596
7,513	-32,400	1049,776	-11,426	130,551	15,312
7,513	-32,400	1049,776	-4,696	22,051	7,935
7,513	-32,400	1049,776	-6,226	38,762	1,656
293,000	-1263,610	40964,950	-293,000	10943,062	8613,289

sumber : Data perhitungan

$$\begin{aligned}\sum \hat{Y} &= 293,000 & \sum \hat{Y} - \bar{Y} &= -1263,610 & \sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2 &= 40964,950 & \sum Y_i - \hat{Y} &= -293,000 \\ \sum (Y_i - \hat{Y})^2 &= 10943,062 & \sum (Y_i - \bar{Y})^2 &= 8613,289\end{aligned}$$

Mencari derajat kebebasan :

$$df_R = k = 2$$

$$df_E = n - k - 1 = 39 - 2 - 1 = 36$$

$$df_L = p = 2$$

$$df_{PE} = \sum(n - 1) = 39 - 1 = 38$$

$$df_T = n - 1 = 38$$

Mencari jumlah kuadrat :

$$SS_R = \sum(\hat{Y}_{ij} - \bar{Y})^2 = 40964,950$$

$$SS_E = \sum(Y_{ij} - \hat{Y})^2 = 10943,062$$

$$SS_{PE} = \sum(Y_{ij} - \bar{Y})^2 = 8613,289$$

$$SS_L = SS_E + SS_{PE} = 10943,062 + 8613,289 = 19556,35$$

$$SS_T = SS_R + SS_E = 40964,950 + 10943,062 = 51908,01$$

Mencari rata-rata jumlah kuadrat :

$$MS_R = \frac{SS_R}{df_R} = \frac{40964,950}{2} = 20482,48$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{df_E} = \frac{10943,062}{36} = 303,974$$

$$MS_{PE} = \frac{SS_{PE}}{df_{PE}} = \frac{8613,289}{2} = 4306,645$$

$$MS_L = \frac{SS_L}{df_L} = \frac{19556,35}{38} = 514,641$$

Mencari Fhitung :

$$F_{hitung\ reg} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{20482,48}{303,974} = 67,382$$

$$F_{hitung\ lack\ of\ fit} = \frac{MS_L}{MS_{PE}} = \frac{514,641}{4306,645} = 0,119$$

Berikut ini akan dilakukan analisis varian dua arah (2 variabel bebas) yang terdiri dari sumber variansi, derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat, Fhitung seperti pada Tabel 4.13 dibawah ini :

Tabel 4. 13 ANOVA Pengujian Kuat Tekan

Sumber Variansi	Dk	Jumlah Kuadrat	Rata-rata Kuadrat	Fhitung
Regresi	2	40964,950	20482,48	67,382
Residual error	36	10943,062	303,974	-
Lack-of-Fit	2	19556,35	514,641	0,119
Pure Error	38	8613,289	4306,645	-
Total	38	51908,01	-	-

Ftabel : df1 = 2, df2 = 37 dengan $\alpha = 0,05$, maka ftabel = 3,25

Dilihat dari tabel diatas diperoleh fhitung sebesar 67,382 maka dapat disimpulkan bahwa Fhitung > Ftabel berarti H_0 ditolak yang menyatakan ada lack of fit atau dengan kata lain modelnya tidak cocok.

4.4.2 Optimasi Respon Kuat Tekan

$$\vec{b} = (X^t \cdot X)^{-1} (X^t \cdot \gamma)$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & -1,0000 & -1,0000 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1,0000 & -1,0000 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1,0000 & 1,0000 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1,0000 & 1,0000 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1,4142 & 0,0000 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1,4142 & 0,0000 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & -1,4142 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 1,4142 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \gamma = \begin{pmatrix} 42,45 \\ 37,59 \\ 47,59 \\ 15,16 \\ 28,01 \\ 45,72 \\ 39,46 \\ 46,70 \\ 45,51 \\ 44,05 \\ 32,63 \\ 39,80 \\ 54,04 \end{pmatrix}$$

$$X^t = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1,0000 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1,4142 & 1,4142 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 0,0000 & 0,0000 & -1,4142 & 1,4142 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 2,0000 & 2,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0,0000 & 0,0000 & 2,0000 & 2,0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$X^t \cdot X = \begin{pmatrix} 13 & 0,00000 & 0,00000 & 8 & 8 & 0 \\ 0 & 7,99992 & 0,00000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,00000 & 7,99992 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 0,00000 & 0,00000 & 12 & 4 & 0 \\ 8 & 0,00000 & 0,00000 & 4 & 12 & 0 \\ 0 & 0,00000 & 0,00000 & 0 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

$$(X^t \cdot X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,00000 & 0,00000 & -0,10000 & -0,10000 & 0,00 \\ 0,0 & 0,125001 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00 \\ 0,0 & 0,00000 & 0,125001 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00 \\ -0,1 & 0,00000 & 0,00000 & 0,14375 & 0,01875 & 0,00 \\ -0,1 & 0,00000 & 0,00000 & 0,01875 & 0,14375 & 0,00 \\ 0,0 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00000 & 0,00000 & 0,25 \end{pmatrix}$$

$$X^t \cdot Y = \begin{pmatrix} 519,710 \\ -11,245 \\ -6,051 \\ 291,250 \\ 316,110 \\ -26,570 \end{pmatrix} \rightarrow \underset{b}{b} = (X^t \cdot X)^{-1} (X^t \cdot Y) = \begin{pmatrix} 43,21 \\ -1,41 \\ -0,76 \\ -4,18 \\ -1,07 \\ -6,64 \end{pmatrix}$$

Sehingga diperoleh persamaan orde kedua sebagai berikut :

$$Y = 43,21 - 1,41 X_1 - 0,76 X_2 - 4,18 x_1^2 - 1,07 x_2^2 - 6,64 X_1 X_2$$

Kemudian koefisien dari masing-masing regresi dari model diubah menjadi hitungan matriks, hal ini dilakukan untuk menentukan nilai optimum dalam proses produksi bata ringan. Pada langkah berikut ini akan dilakukan perkalian dan invers matriks :

$$x_0 = -\frac{1}{2} B^{-1} b$$

$$x_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \beta_{11} & \frac{1}{2} \beta_{12} \\ \frac{1}{2} \beta_{12} & \beta_{22} \end{bmatrix} - 1 \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix}$$

$$x_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} -4,18 & \frac{-6,64}{2} \\ \frac{-6,64}{2} & -1,07 \end{bmatrix} - 1 \begin{bmatrix} 43,21 \\ -1,41 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3,887 \\ 11,401 \end{bmatrix}$$

Penentuan nilai optimum persentase sekam padi (x_1) dan *foam agent* (x_2)

$$\text{Sekam Padi} = 4x_1 + 8,5$$

$$\text{Foam Agent} = 0,1x_2 + 0,9$$

$$\text{Sekam Padi} = 4(-3,887) + 8,5$$

$$\text{Foam Agent} = 0,1(11,401) + 0,9$$

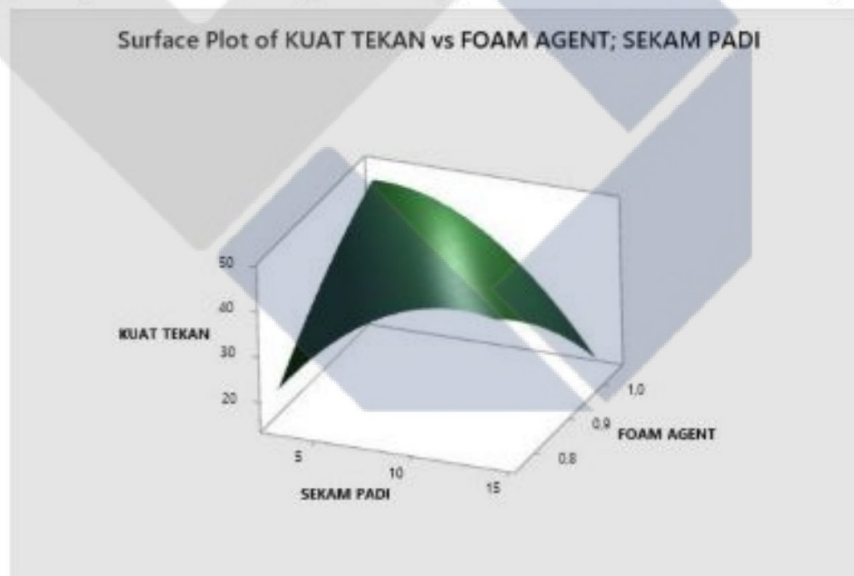
$$\text{Sekam Padi} = 7,05 \%$$

$$\text{Foam Agent} = 1,24 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan hasil persentase faktor yang mempengaruhi proses produksi bata ringan nilai optimum dari faktor persentase sekam padi sebesar 7,05 % dan nilai optimum dari faktor persentase *foam agent* sebesar 1,24 %.

4.4.3 Surface Plot Kuat Tekan

Berdasarkan hasil kurva dibawah dengan respon kuat tekan vs *foam agent* dan sekam padi menunjukkan bahwa penambahan sekam padi dan *foam agent* sangat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan bata ringan, terlihat pada gambar 4.7 semakin sedikit penambahan sekam padi dan *foam agent* bata ringan maka nilai kuat tekan juga semakin tinggi hal ini disebabkan karena pori-pori yang ada hanya sedikit sehingga menyebabkan bata ringan bata ringan lebih kuat dan tidak mudah pecah.



Gambar 4. 7 Surface plot kuat tekan
sumber :Aplikasi analisis

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai optimum persentase penambahan sekam padi dan *foam agent* pada proses produksi bata ringan dengan respon daya serap air sebesar 7,18 % faktor sekam padi dan 0,93 % faktor *foam agent*.
2. Nilai optimum persentase penambahan sekam padi dan *foam agent* pada proses produksi bata ringan dengan respon kuat tekan sebesar 7,05 % faktor sekam padi dan 1,24 % faktor *foam agent*.

5.2 Saran

Berdasarkan dengan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, ada beberapa hal yang ingin penulis sarankan agar penelitian kedepannya lebih baik lagi yaitu sebagai berikut :

1. Untuk menghasilkan kualitas *foam agent* yang lebih baik buatlah *foam agent* menggunakan *foam generator*.

DAFTAR PUSTAKA

Aryantini, N. I. (2017). Optimasi Jaringan Akses Fiber *To The Home* dengan Metode *Multiresponse Surface* dan *Desirability Function* di PT. TKM. Institut Teknologi Sepuluh November , Departemen Manajemen Teknologi, Surabaya.

Eko Prayitno, A. R. (2021). Analisa Berat Isi dan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan *Foam Agent* dengan Bahan Tambah Serbuk Gypsum. *Simetris* , 15 (1).

Elia Hunggurami, W. B. (2014). Studi Eksperimental Kuat Tekan dan Serapan Air Bata Ringan *Cellular Lightweight Concrete* dengan Tanah Putih Sebagai Agregat. *Teknik Sipil* , 3 (2).

Hidayati, R. N. (2018). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Campuran Terhadap Sifat Mekanik Batu Bata di Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis. Universitas Negeri Yogyakarta, Program Studi Fisika. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Jauhar Fajrin, H. M. (2017). Aplikasi Metode Eksperimen *Response Surface* untuk Mengoptimalkan Kuat Tekan Non Bakar. *Rekayasa Sipil* , 13 (2).

La Ode Musa Rachmat, S. I. (2021). Batu Bata Ringan dengan *Filler* Paduan Serat Ijuk Aren dan Sekam Padi Terkarbonisasi. *Aplikasi Teknik Sipil* , 19 (3), 345-350.

Mei Sofiatul Hasahah, Y. A. (2021). Uji Kuat Tekan Daya Serap Air dan Massa Jenis Batu Bata Merah Berbahan Tambahan Abu Kulit dan Janggal Jagung di Wuluhan Jember. *Jurnal Pembelajaran Fisika* , 10 (2), 41-48.

Murtono, A. (2015). Pemanfaatan *Foam Agent* dan Material Lokal dalam Pembuatan Bata Ringan. Universitas Muhamadiyah Surakarta, Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil. Surakarta: Universitas Muhamadiyah Surakarta.

NIST/SEMATECH. (2013). *Engineering Statistics Handbook*. NIST/SEMATECH (2013-10-30).

Novi Suryani, M. (2015). Fabrikasi Bata Ringan Tipe *Celluler Lightweight Concrete* dengan Bahan Dasar Pasir Vulkanik Gunung Kelud Sebagai Pengganti *Fly Ash*. *Inovasi Fisika Indonesia* , 4 (3), 106-111.

Raditya Hardianto, E. S. (2018). Studi Eksperimental Pembuatan Bata Ringan *Foam Agent* (Busa) dengan Variasi Pemakaian Air. *Jelast : Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang* , 5 (1).

Ressi Anggraeni, A. M. (2019). Pengaruh Penambahan Sekam Padi Dengan Tambahan Serat Pinang Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Beton Ringan. *Fisika Unand* , 8 (1). Ria Faulina, S. A. (2011). *Response Surface Methodology* dan Aplikasinya. Institut Teknologi Sepuluh November, Jurusan Statistika, Surabaya.

Sari Ayu Luahambowo, S. B. (2019). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanis *Foam Cement Composite*. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*.

Sinulingga, K. (2017). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Terhadap Kekuatan Batu Bata. *Prosiding Seminar Hilirisasi Penelitian Untuk Kesejahteraan Masyarakat Lembaga Penelitian Universitas Negeri Medan*.

Sitti Nurmiah, R. S. (2013). Aplikasi *Response Surface Methodology* Pada Optimalisasi Kondisi Proses Pengolahan *Alkali Treated Cottonii (ATC)*. *Jpb Kelautan dan Perikanan* , 8 (1), 9-22.

Slamet Anambyah, E. S. (2010). Pengaruh Pewarnaan Beton Cetak pada Dinding Serap sebagai Selubung Bangunan Tinggi. *Forum Teknik* , 33 (2).

Slamet Budirahardjo, A. K. (2014). Pemanfaatan Sekam Padi Pada Batako. *Prosiding SNST ke-5*. Semarang.

Sulfianty, N. S. (2020). Studi Tentang Konduktivitas dan Resistansi Termalgeopolimer Berpori Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*). *Sains dan Pendidikan Fisika*, 16 (2), 161-170.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Sahril Mashuri Ihsan
Tempat Dan Tanggal Lahir : Bakam, 15 Desember 1999
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : JL. Raya Pangkalpinang-Muntok km.37 Rt 05
Rw 02 Desa Bakam, Kecamatan Bakam,
Kabupaten Bangka, Provinsi Bangka Belitung.
Agama : Islam
E-Mail : sahrimashuri11@gmail.com

2. Riwayat Pendidikan

- a. 2006-2012 : SD NEGERI 4 BAKAM
- b. 2012-2015 : SMP IT DAARUL ABROR
- c. 2015-2018 : SMA NEGERI 1 PUDING BESAR
- d. 2018-2022 : POLMAN NEGERI BANGKA BELITUNG

Lampiran 2 Hitungan Densitas

1. $\rho = \frac{400,92 \text{ gr}}{275,808 \text{ cm}^3} = 1,45 \text{ gr/cm}^3$
2. $\rho = \frac{412,03 \text{ gr}}{257,088 \text{ cm}^3} = 1,60 \text{ gr/cm}^3$
3. $\rho = \frac{447,63 \text{ gr}}{308,142 \text{ cm}^3} = 1,45 \text{ gr/cm}^3$
4. $\rho = \frac{435,63 \text{ gr}}{278,409 \text{ cm}^3} = 1,56 \text{ gr/cm}^3$
5. $\rho = \frac{459,87 \text{ gr}}{273,156 \text{ cm}^3} = 1,68 \text{ gr/cm}^3$
6. $\rho = \frac{449,25 \text{ gr}}{278,409 \text{ cm}^3} = 1,61 \text{ gr/cm}^3$
7. $\rho = \frac{440,28 \text{ gr}}{257,397 \text{ cm}^3} = 1,71 \text{ gr/cm}^3$
8. $\rho = \frac{466,47 \text{ gr}}{277,75 \text{ cm}^3} = 1,68 \text{ gr/cm}^3$
9. $\rho = \frac{468,82 \text{ gr}}{267,65 \text{ cm}^3} = 1,75 \text{ gr/cm}^3$
10. $\rho = \frac{475,34 \text{ gr}}{273,003 \text{ cm}^3} = 1,74 \text{ gr/cm}^3$
11. $\rho = \frac{377,15 \text{ gr}}{275,706 \text{ cm}^3} = 1,37 \text{ gr/cm}^3$
12. $\rho = \frac{465,56 \text{ gr}}{286,518 \text{ cm}^3} = 1,62 \text{ gr/cm}^3$
13. $\rho = \frac{427,06 \text{ gr}}{275,706 \text{ cm}^3} = 1,55 \text{ gr/cm}^3$
14. $\rho = \frac{394,92 \text{ gr}}{275,808 \text{ cm}^3} = 1,43 \text{ gr/cm}^3$
15. $\rho = \frac{466,92 \text{ gr}}{286,518 \text{ cm}^3} = 1,63 \text{ gr/cm}^3$
16. $\rho = \frac{370,12 \text{ gr}}{247,401 \text{ cm}^3} = 1,50 \text{ gr/cm}^3$
17. $\rho = \frac{412,19 \text{ gr}}{278,154 \text{ cm}^3} = 1,48 \text{ gr/cm}^3$
18. $\rho = \frac{472,36 \text{ gr}}{277,992 \text{ cm}^3} = 1,70 \text{ gr/cm}^3$
19. $\rho = \frac{381,80 \text{ gr}}{257,348 \text{ cm}^3} = 1,48 \text{ gr/cm}^3$
20. $\rho = \frac{435,29 \text{ gr}}{259,896 \text{ cm}^3} = 1,67 \text{ gr/cm}^3$

21. $\rho = \frac{478,77 \text{ gr}}{270,00 \text{ cm}^3} = 1,77 \text{ gr/cm}^3$
22. $\rho = \frac{470,87 \text{ gr}}{273,156 \text{ cm}^3} = 1,72 \text{ gr/cm}^3$
23. $\rho = \frac{473,51 \text{ gr}}{267,852 \text{ cm}^3} = 1,77 \text{ gr/cm}^3$
24. $\rho = \frac{355,86 \text{ gr}}{267,903 \text{ cm}^3} = 1,33 \text{ gr/cm}^3$
25. $\rho = \frac{454,14 \text{ gr}}{291,924 \text{ cm}^3} = 1,56 \text{ gr/cm}^3$
26. $\rho = \frac{437,19 \text{ gr}}{275,706 \text{ cm}^3} = 1,59 \text{ gr/cm}^3$
27. $\rho = \frac{428,64 \text{ gr}}{270,504 \text{ cm}^3} = 1,58 \text{ gr/cm}^3$
28. $\rho = \frac{437,62 \text{ gr}}{262,444 \text{ cm}^3} = 1,67 \text{ gr/cm}^3$
29. $\rho = \frac{392,73 \text{ gr}}{288,456 \text{ cm}^3} = 1,36 \text{ gr/cm}^3$
30. $\rho = \frac{365,91 \text{ gr}}{281,112 \text{ cm}^3} = 1,30 \text{ gr/cm}^3$
31. $\rho = \frac{427,33 \text{ gr}}{289,062 \text{ cm}^3} = 1,48 \text{ gr/cm}^3$
32. $\rho = \frac{433,66 \text{ gr}}{283,868 \text{ cm}^3} = 1,53 \text{ gr/cm}^3$
33. $\rho = \frac{448,49 \text{ gr}}{257,397 \text{ cm}^3} = 1,74 \text{ gr/cm}^3$
34. $\rho = \frac{431,05 \text{ gr}}{267,80 \text{ cm}^3} = 1,61 \text{ gr/cm}^3$
35. $\rho = \frac{450,42 \text{ gr}}{286,518 \text{ cm}^3} = 1,57 \text{ gr/cm}^3$
36. $\rho = \frac{481,76 \text{ gr}}{277,992 \text{ cm}^3} = 1,73 \text{ gr/cm}^3$
37. $\rho = \frac{456,85 \text{ gr}}{286,518 \text{ cm}^3} = 1,59 \text{ gr/cm}^3$
38. $\rho = \frac{449,53 \text{ gr}}{270,504 \text{ cm}^3} = 1,66 \text{ gr/cm}^3$
39. $\rho = \frac{423,73 \text{ gr}}{275,808 \text{ cm}^3} = 1,54 \text{ gr/cm}^3$

Lampiran 3 Hitungan Daya Serap Air

1. Daya serap air (%) = $\frac{(456,72 - 400,92)}{400,92} \times 100 \% = 13,92 \%$
2. Daya serap air (%) = $\frac{(457,35 - 412,03)}{412,03} \times 100 \% = 11,00 \%$
3. Daya serap air (%) = $\frac{(489,14 - 447,63)}{447,63} \times 100 \% = 9,27 \%$
4. Daya serap air (%) = $\frac{(459,84 - 435,63)}{435,63} \times 100 \% = 5,56 \%$
5. Daya serap air (%) = $\frac{(478,79 - 459,87)}{459,87} \times 100 \% = 4,11 \%$
6. Daya serap air (%) = $\frac{(485,58 - 449,25)}{449,25} \times 100 \% = 8,09 \%$
7. Daya serap air (%) = $\frac{(473,41 - 440,28)}{440,28} \times 100 \% = 7,52 \%$
8. Daya serap air (%) = $\frac{(497,68 - 466,47)}{466,47} \times 100 \% = 6,69 \%$
9. Daya serap air (%) = $\frac{(500,85 - 468,82)}{468,82} \times 100 \% = 6,83 \%$
10. Daya serap air (%) = $\frac{(509,48 - 475,34)}{475,34} \times 100 \% = 7,18 \%$
11. Daya serap air (%) = $\frac{(409,20 - 377,15)}{377,15} \times 100 \% = 8,50 \%$
12. Daya serap air (%) = $\frac{(479,57 - 465,56)}{465,56} \times 100 \% = 3,01 \%$
13. Daya serap air (%) = $\frac{(444,10 - 427,06)}{427,06} \times 100 \% = 3,99 \%$
14. Daya serap air (%) = $\frac{(425,53 - 394,92)}{394,92} \times 100 \% = 7,75 \%$
15. Daya serap air (%) = $\frac{(502,30 - 466,92)}{466,92} \times 100 \% = 7,60 \%$
16. Daya serap air (%) = $\frac{(391,69 - 370,12)}{370,12} \times 100 \% = 5,83 \%$
17. Daya serap air (%) = $\frac{(456,09 - 412,19)}{412,19} \times 100 \% = 10,65 \%$
18. Daya serap air (%) = $\frac{(502,10 - 472,36)}{472,36} \times 100 \% = 6,30 \%$
19. Daya serap air (%) = $\frac{(422,24 - 381,80)}{381,80} \times 100 \% = 10,59 \%$
20. Daya serap air (%) = $\frac{(469,03 - 435,29)}{435,29} \times 100 \% = 7,75 \%$

21. Daya serap air (%) = $\frac{(510,00 - 478,77)}{478,77} \times 100 \% = 6,52 \%$
22. Daya serap air (%) = $\frac{(500,00 - 470,87)}{470,87} \times 100 \% = 6,19 \%$
23. Daya serap air (%) = $\frac{(508,28 - 473,51)}{473,51} \times 100 \% = 7,34 \%$
24. Daya serap air (%) = $\frac{(398,76 - 355,86)}{355,86} \times 100 \% = 12,06 \%$
25. Daya serap air (%) = $\frac{(467,76 - 454,14)}{454,14} \times 100 \% = 3,00 \%$
26. Daya serap air (%) = $\frac{(453,52 - 437,19)}{437,19} \times 100 \% = 3,74 \%$
27. Daya serap air (%) = $\frac{(459,07 - 428,64)}{428,64} \times 100 \% = 7,10 \%$
28. Daya serap air (%) = $\frac{(476,18 - 437,62)}{437,62} \times 100 \% = 8,81 \%$
29. Daya serap air (%) = $\frac{(427,42 - 392,73)}{392,73} \times 100 \% = 8,83 \%$
30. Daya serap air (%) = $\frac{(399,17 - 365,91)}{365,91} \times 100 \% = 9,09 \%$
31. Daya serap air (%) = $\frac{(461,32 - 427,33)}{427,33} \times 100 \% = 7,95 \%$
32. Daya serap air (%) = $\frac{(480,46 - 433,66)}{433,66} \times 100 \% = 10,79 \%$
33. Daya serap air (%) = $\frac{(477,69 - 448,49)}{448,49} \times 100 \% = 6,51 \%$
34. Daya serap air (%) = $\frac{(465,03 - 431,05)}{431,05} \times 100 \% = 7,88 \%$
35. Daya serap air (%) = $\frac{(488,80 - 450,42)}{450,42} \times 100 \% = 8,52 \%$
36. Daya serap air (%) = $\frac{(519,20 - 481,76)}{481,76} \times 100 \% = 7,77 \%$
37. Daya serap air (%) = $\frac{(492,87 - 456,85)}{456,85} \times 100 \% = 7,88 \%$
38. Daya serap air (%) = $\frac{(469,89 - 449,53)}{449,53} \times 100 \% = 4,53 \%$
39. Daya serap air (%) = $\frac{(446,89 - 423,73)}{423,73} \times 100 \% = 5,47 \%$

Lampiran 4 Hitungan Kuat Tekan

1. Kuat tekan = $1,23 \text{ MPa} \times 10,197 = 12,54 \text{ Kg/cm}^2$
2. Kuat tekan = $2,89 \text{ MPa} \times 10,197 = 29,47 \text{ Kg/cm}^2$
3. Kuat tekan = $4,72 \text{ MPa} \times 10,197 = 48,13 \text{ Kg/cm}^2$
4. Kuat tekan = $1,29 \text{ MPa} \times 10,197 = 13,15 \text{ Kg/cm}^2$
5. Kuat tekan = $3,58 \text{ MPa} \times 10,197 = 36,51 \text{ Kg/cm}^2$
6. Kuat tekan = $4,23 \text{ MPa} \times 10,197 = 43,13 \text{ Kg/cm}^2$
7. Kuat tekan = $3,35 \text{ MPa} \times 10,197 = 34,16 \text{ Kg/cm}^2$
8. Kuat tekan = $4,27 \text{ MPa} \times 10,197 = 43,54 \text{ Kg/cm}^2$
9. Kuat tekan = $2,61 \text{ MPa} \times 10,197 = 26,61 \text{ Kg/cm}^2$
10. Kuat tekan = $4,50 \text{ MPa} \times 10,197 = 45,89 \text{ Kg/cm}^2$
11. Kuat tekan = $1,97 \text{ MPa} \times 10,197 = 20,09 \text{ Kg/cm}^2$
12. Kuat tekan = $1,51 \text{ MPa} \times 10,197 = 15,40 \text{ Kg/cm}^2$
13. Kuat tekan = $6,15 \text{ MPa} \times 10,197 = 62,71 \text{ Kg/cm}^2$
14. Kuat tekan = $6,53 \text{ MPa} \times 10,197 = 66,59 \text{ Kg/cm}^2$
15. Kuat tekan = $3,35 \text{ MPa} \times 10,197 = 34,16 \text{ Kg/cm}^2$
16. Kuat tekan = $3,86 \text{ MPa} \times 10,197 = 39,36 \text{ Kg/cm}^2$
17. Kuat tekan = $1,55 \text{ MPa} \times 10,197 = 15,81 \text{ Kg/cm}^2$
18. Kuat tekan = $3,53 \text{ MPa} \times 10,197 = 36,00 \text{ Kg/cm}^2$
19. Kuat tekan = $4,60 \text{ MPa} \times 10,197 = 46,91 \text{ Kg/cm}^2$
20. Kuat tekan = $4,20 \text{ MPa} \times 10,197 = 42,83 \text{ Kg/cm}^2$
21. Kuat tekan = $6,29 \text{ MPa} \times 10,197 = 64,14 \text{ Kg/cm}^2$
22. Kuat tekan = $5,32 \text{ MPa} \times 10,197 = 54,25 \text{ Kg/cm}^2$
23. Kuat tekan = $4,93 \text{ MPa} \times 10,197 = 50,27 \text{ Kg/cm}^2$
24. Kuat tekan = $3,44 \text{ MPa} \times 10,197 = 35,08 \text{ Kg/cm}^2$
25. Kuat tekan = $6,16 \text{ MPa} \times 10,197 = 62,81 \text{ Kg/cm}^2$
26. Kuat tekan = $5,02 \text{ MPa} \times 10,197 = 51,19 \text{ Kg/cm}^2$
27. Kuat tekan = $4,77 \text{ MPa} \times 10,197 = 48,64 \text{ Kg/cm}^2$

28. Kuat tekan = $4,73 \text{ MPa} \times 10,197 = 48,23 \text{ Kg/cm}^2$
29. Kuat tekan = $4,82 \text{ MPa} \times 10,197 = 49,15 \text{ Kg/cm}^2$
30. Kuat tekan = $5,42 \text{ MPa} \times 10,197 = 55,27 \text{ Kg/cm}^2$
31. Kuat tekan = $1,62 \text{ MPa} \times 10,197 = 16,52 \text{ Kg/cm}^2$
32. Kuat tekan = $1,13 \text{ MPa} \times 10,197 = 11,52 \text{ Kg/cm}^2$
33. Kuat tekan = $4,62 \text{ MPa} \times 10,197 = 47,11 \text{ Kg/cm}^2$
34. Kuat tekan = $4,06 \text{ MPa} \times 10,197 = 41,40 \text{ Kg/cm}^2$
35. Kuat tekan = $3,18 \text{ MPa} \times 10,197 = 32,43 \text{ Kg/cm}^2$
36. Kuat tekan = $5,46 \text{ MPa} \times 10,197 = 55,68 \text{ Kg/cm}^2$
37. Kuat tekan = $3,53 \text{ MPa} \times 10,197 = 36,00 \text{ Kg/cm}^2$
38. Kuat tekan = $4,19 \text{ MPa} \times 10,197 = 42,73 \text{ Kg/cm}^2$
39. Kuat tekan = $4,04 \text{ MPa} \times 10,197 = 41,20 \text{ Kg/cm}^2$