

**ANALISIS OPTIMASI BRIKET BATU BARA DENGAN PEREKAT
MOLASE DAN TEPUNG TAPIOKA MENGGUNAKAN METODE
*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)***

PROYEK AKHIR

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



Disusun Oleh:

Martin NIM 1042217

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2025**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS OPTIMASI BRIKET BATU BARA DENGAN PEREKAT MOLASE DAN TEPUNG TAPIOKA MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)*

Oleh:

MARTIN NIM 1042217

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

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2

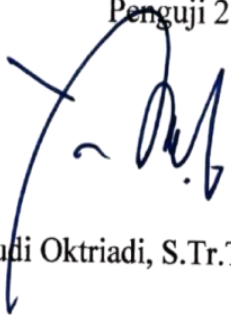

(Dr. Hham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T.)


(Yuli Dharta, S.S.T., M.T.)

Penguji 1


(Eko Yudo, S.T.T., M.T.)

Penguji 2


(Yudi Oktriadi, S.Tr.T., M.Eng.)

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Martin NIM : 1042217
Dengan Judul : ANALISIS OPTIMASI BRIKET BATU BARA
DENGAN PEREKAT MOLASE DAN TEPUNG
TAPIOKA MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE
SURFACE METHODOLOGY* (RSM)

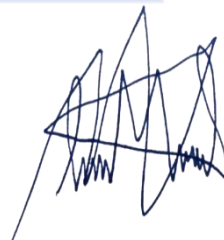
Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja sendiri dan bukan plagiat.
Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata di kemudian hari
ternyata melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 14 September 2025

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Martin



ABSTRAK

Kebutuhan akan material pembantu yang ramah lingkungan dan mampu menjaga kestabilan suhu tinggi dalam tungku menjadi hal penting dalam mempercepat proses pelelehan timah di industri peleburan. Briket batu bara memiliki potensi besar sebagai bahan bakar alternatif karena nilai kalor yang tinggi dan ketahanannya terhadap suhu ekstrem. Namun, hingga kini, belum ditemukan komposisi optimal yang sesuai untuk kebutuhan industri tersebut, terutama dalam hal kualitas fisik dan efisiensi energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi pembuatan briket batu bara dengan menggunakan perekat alami berupa molase dan tepung tapioka. Metode yang digunakan adalah Response Surface Methodology (RSM) dengan desain percobaan Central Composite Design (CCD), untuk mengevaluasi pengaruh variabel bebas seperti persentase binder (10%, 12,5%, 15%), suhu pengeringan (70°C, 90°C, 110°C), tekanan pengepresan (8 MPa, 10 MPa, 12 MPa), dan waktu pemanasan (60, 90, 120 menit) terhadap kualitas briket. Respon yang diamati adalah kadar air dan kekuatan tekan. Hasil analisis menunjukkan bahwa suhu pengeringan paling berpengaruh dalam menurunkan kadar air, sedangkan tekanan dan persentase binder berperan penting dalam meningkatkan kekuatan tekan. Kombinasi optimal untuk kekuatan tekan tertinggi (808 kPa) diperoleh pada 10% binder, suhu 70°C, tekanan 8 MPa, dan waktu 120 menit. Sementara kadar air terendah (4,00%) dicapai pada 12,5% binder, suhu 90°C, tekanan 8 MPa, dan waktu 90 menit. Dengan demikian, metode RSM terbukti efektif dalam mengoptimalkan parameter proses pembuatan briket batu bara untuk kebutuhan industri peleburan timah.

Kata kunci: briket batu bara, molase, optimasi, RSM, tepung tapioka

ABSTRACT

The need for environmentally friendly auxiliary materials capable of maintaining high temperatures in furnaces is crucial to accelerate the tin smelting process in the tin smelting industry. Coal briquettes have great potential as an alternative fuel due to their high calorific value and resistance to extreme heat. However, an optimal composition that meets industrial requirements particularly in terms of physical quality and energy efficiency has yet to be determined. This study aims to optimize the production of coal briquettes using natural binders in the form of molasses and tapioca flour. The method used is Response Surface Methodology (RSM) with a Central Composite Design (CCD) to evaluate the effect of independent variables such as binder percentage (10%, 12.5%, 15%), drying temperature (70°C, 90°C, 110°C), pressing pressure (8 MPa, 10 MPa, 12 MPa), and heating time (60, 90, 120 minutes) on the quality of the briquettes. The observed responses were moisture content and compressive strength. The analysis showed that drying temperature had the most significant influence in reducing moisture content, while pressure and binder percentage played key roles in increasing compressive strength. The optimal combination for the highest compressive strength (808 kPa) was obtained at 10% binder, 70°C drying temperature, 8 MPa pressure, and 120 minutes of heating. Meanwhile, the lowest moisture content (4.00%) was achieved at 12.5% binder, 90°C, 8 MPa, and 90 minutes. Thus, the RSM method proved effective in optimizing process parameters for coal briquette production to meet the needs of the tin smelting industry.

Keywords: coal briquette, molasses, optimization, RSM, tapioca

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan berkat-Nya yang telah memberikan kesempatan kepada penulis agar dapat menyelesaikan dan menyusun laporan proyek akhir yang berjudul “Analisis Optimasi Briket Batu Bara Dengan Perekat Molase Dan Tepung Tapioka Menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM)”. Laporan proyek akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan D-IV program studik Teknik Mesin dan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Dalam pembuatan proyek akhir ini penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, membimbing serta berdoa sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir ini. Dengan itu perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

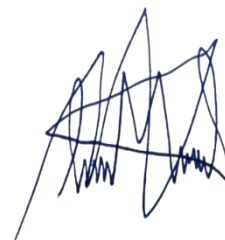
1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kelancaran serta kesehatan yang dimana penulis bisa menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini.
2. Mami dan Papa tercinta serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang serta doa yang tiada hentinya kepada penulis.
3. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D selaku direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah banyak memberikan kemudahan dalam menyelesaikan pendidikan.
4. Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T. dan Yuli Dharta, S.S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan memberi saran - saran dalam pembuatan dan penyusunan laporan proyek akhir ini.
5. Dosen dan Staf Pengajar di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah mendidik, membina dan mengantarkan penulis untuk menempuh kematangan dalam berfikir dan berperilaku.
6. Bang Arman Bencah yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proyek akhir dengan meminjamkan alat press hidrolik yang sangat membantu menyelesaikan proyek akhir.

7. Teman–teman seperjuangan dan semua pihak yang telah memberikan bantuannya.
8. Sahabat-sahabat yang selalu memberikan support selama ini dan mitra kerja penulis selama mengerjakan proyek akhir ini yang selalu berjuang bersama-sama.
9. Terima kasih atas organisasi Teknik Mesin FMMI yang telah memberikan pengalaman yang sangat berharga, selama perjalanan penulis dalam mencari ilmu mau itu soft skill ataupun hard skill, dimana selalu mengajarkan pengalaman baru beserta relasi yang sangat besar dari Aceh hingga Papua.

Dalam penyusunan laporan proyek akhir ini, penulis menyadari bahwa terdapat banyak sekali kekurangan serta kesalahan, keterbatasan, kemampuan, dan juga pemahaman yang kurang maka penulis mohon maaf yang sebesar – besarnya.

Penulis sangat antusias dan terima baik atas kritik dan saran apabila terdapat kesalahan penulisan pada laporan proyek akhir. Hal ini demi perbaikan yang bersifat membangun serta memberikan pemahaman lebih yang penulis belum begitu mengerti dan paham. Demikian laporan yang penulis buat, penulis mengucapkan terima kasih dan berharap semoga dengan adanya proyek akhir yang penulis buat dapat menambah wawasan untuk kita semua dan teruntuk para pembaca.

Sungailiat, 14 September 2025



Martin

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iiiiv
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Briket Batu Bara.....	5
2.3 Batu Bara.....	6
2.3.1. Klasifikasi Batu Bara	7
2.3.2. Karakteristik Batu Bara.....	7
2.4 Bahan Tambahan dalam Pembuatan Briket	8
2.4.1 Molase	8
2.4.2 Tepung Tapioka	9
2.5 Mesin Pres Hidrolik	10
2.6 Timbangan Digital	10
2.7 Mesin <i>Heat treatment</i>	11
2.8 Gelas Plastik.....	11

2.9	Air	12
2.10	Cetakan Briket Batu Bara.....	13
2.11	Optimasi Metode <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	13
BAB III METODE PENELITIAN		22
3.1	Tahap-tahap Kegiatan	22
3.2	Studi Literatur	23
3.3	Identifikasi dan Rumusan Masalah	23
3.4	<i>Design</i> Percobaan.....	23
3.4.1	Variabel Bebas	27
3.4.2	Variabel Tetap	28
3.4.3	Variabel Respon	28
3.5	Persiapan Alat dan Bahan	28
3.5.1	Alat Penelitian.....	29
3.5.2	Alat Uji Kekerasan.....	29
3.5.3	Bahan Penelitian.....	29
3.6	Pembuatan Briket Batu Bara.....	30
3.6.1	Persiapan Bahan dan Alat	30
3.6.2	Penimbangan Bahan.....	31
3.6.3	Proses Pencampuran dan Pencetakan Briket.....	32
3.6.4	Proses Pengeringan (<i>Heat Treatment</i>)	33
3.7	Pengujian Uji Tekan dan Kadar Air.....	35
3.8	Pengolahan Data Penelitian.....	37
3.9	Analisis Data Hasil Uji Coba	37
3.10	Kesimpulan	37
BAB IV PEMBAHASAN.....		38
4.1	Hasil Pengujian	38
4.2	Data Nilai Perbandingan Volume Cetakan dan Volume Briket.....	38
4.3	Data Nilai Kadar Air	47
4.2.1	Perhitungan Data Kadar Air.....	48
4.2.2	Data Nilai Uji Tekan	54
4.3	Pengolahan Data.....	57

4.3.1	Uji Normalitas.....	57
4.3.2	Sampel Analisis Varian (Anova)	58
4.3.3	Persamaan <i>Second Order</i>	60
4.3.2	Uji <i>Lack of Fit</i> (Ketidaksesuaian Persamaan Regresi).....	68
4.4	Model Kuadratik dan Optimasi.....	69
4.4.1	Analisis <i>Coeffisients</i> Determinasi	69
4.4.2	Menetapkan Nilai Data <i>Stationary – Point</i>	70
4.4.3	Menetapkan Nilai Titik Optimal dari Faktor X_1, X_2, X_3 dan X_4	71
4.4.4	Menetapkan Nilai Prediksi Respon Pada <i>Stationary - Point</i>	74
4.4.5	Model <i>Canonical</i>	74
4.4.6	Grafik Permukaan <i>Plot</i>	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA		82

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Tinjauan Pustaka	4
2. 2 Anova Regresi Berganda	20
3. 1 Desain Percobaan Dalam Bentuk Kode	24
3. 2 Variabel Bebas dan Level Perlakuan	25
3. 3 Desain Eksperimen.....	26
3. 4 Spesifikasi Timbangan Digital <i>Type NANKAI Japan Technology</i>	31
3. 5 Kategori Pengeringan.....	33
4. 1 Hasil Perhitungan Volume Briket dan Perbandingan	46
4. 2 Data Hasil Percobaan	47
4. 3 Data Hasil Selisih antara Massa Awal dan Massa Akhir Sampel.....	51
4. 4 Data Hasil Uji Tekan.....	54
4. 5 Analisis Varian (Anova) Kadar Air	58
4. 6 Koefesien Regresi	58
4. 7 Koefesien Interaksi.....	58
4. 8 Nilai Koefesien Deteriminasi.....	59
4. 9 Analisis Varian (Anova) Uji Tekan	59
4. 10 Koefesien Regresi	60
4. 11 Koefesien Interaksi.....	60
4. 12 Nilai Koefesien Deteriminasi.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Briket Batu Bara.....	6
2. 2 Batu Bara.....	6
2. 3 Molase	9
2. 4 Tepung Tapioka	9
2. 5 Mesin Pres Hidrolik	10
2. 6 Timbangan Digital	11
2. 7 <i>Heat Treatment</i>	11
2. 8 Gelas Plastik.....	12
2. 9 Air	12
2. 10 Cetakan Briket Batu Bara	13
2. 11 Grafik <i>Respons Surface</i> (Montgomery, 2020).....	14
2. 12 Respon Permukaan dan <i>Plot Contour</i> Pada Posisi Maximum Montgomery (2020)	17
2. 13 Respon Permukaan dan <i>Plot Contour</i> Pada Posisi Minimum Montgomery (2020)	17
2. 14 Respon Permukaan dan <i>Plot Contour</i> Pada <i>Saddle-point</i> Montgomery (2020)	18
3. 1 <i>Flowchart</i> Tahapan Kegiatan.....	22
3. 2 Mesin <i>Zwick Roell Z020</i>	29
3. 3 Penimbangan Air dan Molase	31
3. 4 Penimbangan Antrasit Batu Bara	31
3. 5 Cetakan Briket Batu Bara	32
3. 6 Proses Pengepresan Pembentukan Briket	33
3. 7 Proses Pengeringan	34
3. 8 Pengujian Kekerasan.....	35
3. 9 Pengambilan Data Kadar Air	36
4. 1 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Binder	53
4. 2 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Suhu.....	53

4. 3 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Tekanan	53
4. 4 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Waktu	54
4. 5 Diagram Hasil Uji Tekan	55
4. 6 Diagram Hasil Uji Tekan	56
4. 7 Grafik <i>Probability Plot of</i> Kadar Air	57
4. 8 Grafik <i>Probability Plot of</i> Uji Tekan	57
4. 9 Grafik <i>Surface Plot</i> Kadar Air Antara Binder (A) dan Suhu (B).....	75
4. 10 Grafik <i>Surface Plot</i> Kadar Air Antara Binder (A) dan Tekanan (C)	76
4. 11 Grafik <i>Surface Plot</i> Kadar Air Antara Suhu (B) dan Waktu (D).....	77
4. 12 Grafik <i>Surface Plot</i> Kadar Air Antara Tekanan (C) dan Waktu (D)	77
4. 13 Grafik <i>Surface Plot</i> Kadar Air Antara Binder (A) dan Suhu (B).....	78
4. 14 Grafik <i>Surface Plot</i> Kadar Air Antara Binder (A) dan Tekanan (C)	79
4. 15 Grafik <i>Surface Plot</i> Kadar Air Antara Suhu (B) dan Waktu (D).....	79
4. 16 Grafik <i>Surface Plot</i> Kadar Air Antara Tekanan (C) dan Waktu (D)	80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftara Riwayat Hidup

Lampiran 2 Penimbangan Berat Awal dan Akhir Sampel

Lampiran 3 Pengambilan Data Uji Tekan

Lampiran 4 Histori Pembuatan Briket

Lampiran 5 Hasil Uji Menggunakan Mesin *Zwick Roell Z020*

Lampiran 6 Poster

Lampiran 7 Hasil Cek Plagiatrisme



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan ekonomi dan industrialisasi yang pesat di era globalisasi mendorong peningkatan konsumsi energi secara signifikan, termasuk dalam sektor pertambangan dan peleburan logam. Energi saat ini menjadi salah satu permasalahan utama dunia saat ini. Salah satu industri strategis di Indonesia, khususnya di wilayah Bangka Belitung adalah industri peleburan timah. Proses peleburan timah memerlukan suhu tinggi dan bahan bakar yang efisien untuk mencapai efisiensi leleh yang optimal. Selama ini, bahan bakar konvensional yang digunakan memiliki biaya tinggi dan efek lingkungan yang kurang baik. Oleh karena itu, dibutuhkan sumber energi alternatif yang lebih ekonomis, efektif, dan ramah lingkungan [1].

Batu bara merupakan salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia. Menurut data dari Badan Geologi Kementerian ESDM, total potensi dan cadangan batu bara di Indonesia mencapai 186 miliar ton, dengan distribusi sebesar 52% di Pulau Sumatera, 47% di Pulau Kalimantan, dan sisanya 1% tersebar di pulau-pulau lainnya. [2].

Saat ini, penggunaan batu bara sebagai sumber energi terus meningkat seiring dengan menurunnya produksi minyak bumi. Banyak industri mulai beralih menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama. Dominasi batu bara diperkirakan akan terus bertambah, terutama didukung oleh kebijakan energi nasional, sementara cadangan minyak dan gas bumi semakin menipis. Selain itu, data bauran energi nasional menunjukkan bahwa konsumsi masih didominasi oleh bahan bakar minyak, yang harganya berpotensi terus naik. Oleh karena itu, batu bara menjadi alternatif menarik untuk menggantikan dan mendiversifikasi ketergantungan terhadap minyak dan gas, mengingat cadangannya yang masih sangat besar di Indonesia [3].

Briket batu bara tidak hanya digunakan sebagai bahan bakar alternatif, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai agen bantu termal dalam proses peleburan timah. Dalam hal ini, briket tidak berfungsi sebagai katalis kimia dalam arti sesungguhnya, melainkan sebagai material pembantu yang mampu menjaga kestabilan suhu tinggi di dalam tungku dan mempercepat proses pelelehan timah melalui pembakaran yang lebih merata dan terkendali. Agar berfungsi secara optimal, briket harus memiliki karakteristik fisik dan termal yang baik, seperti nilai kalor tinggi, kekompakan yang kuat, dan ketahanan terhadap suhu tinggi [4].

Salah satu faktor penting dalam pembuatan briket adalah jenis dan proporsi bahan perekat. Perekat yang tepat dapat meningkatkan kekuatan tekan dan kualitas pembakaran briket [5]. Tepung tapioka banyak digunakan sebagai bahan perekat alami karena ramah lingkungan, namun memiliki keterbatasan dalam menghasilkan briket yang kuat. Oleh karena itu, perlu kombinasi dengan bahan lain seperti molase, yang memiliki daya rekat tinggi dan kandungan gula yang dapat meningkatkan efisiensi pembakaran [6].

Namun hingga kini, proporsi ideal antara molase dan tepung tapioka dalam produksi briket batu bara belum diketahui secara pasti, terutama untuk aplikasi dalam industri peleburan timah yang memerlukan kestabilan suhu tinggi dan pembakaran yang efisien. Hal ini menjadi penting mengingat proses peleburan timah, seperti yang dilakukan oleh PT Timah Tbk di Unit Metalurgi Muntok, masih menghadapi tantangan dalam hal efisiensi energi dan mutu hasil leleh akibat tingginya kandungan logam yang tertinggal di terak (*slag*). Briket batu bara yang memiliki kualitas fisik dan termal yang baik berpotensi menjadi bahan bantu dalam proses tersebut, karena mampu menjaga suhu tinggi lebih stabil dan mengurangi pemborosan bahan bakar. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk merumuskan kombinasi bahan perekat yang mampu menghasilkan briket dengan karakteristik optimal [7].

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengukur kontribusi binder, suhu, tekanan dan waktu, serta variabel respon yaitu uji kadar air dan uji tekan dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM)?
2. Bagaimana peran variasi jenis dan jumlah perekat memengaruhi sifat atau karakteristik briket batu bara yang dibuat dengan campuran molase dan tepung tapioka?
3. Berapa proporsi optimal campuran molase dan tepung tapioka yang dapat menghasilkan briket batu bara dengan kualitas terbaik?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut, sesuai dengan latar belakang yang telah disampaikan:

1. Produksi briket batu bara dengan campuran molase dan tepung tapioka
2. Fokus pada penggunaan metode *Response Surface Methodology* (RSM)
3. Pengaturan presentase campuran dalam pembuatan briket
4. Briket yang dihasilkan akan dilakukan uji tekan dan kadar air

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengukur kontribusi variabel bebas (binder, suhu, tekanan, waktu pengeringan) terhadap kualitas briket batu bara dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM).
2. Menganalisis pengaruh perbandingan campuran bahan perekat alami (molase dan tepung tapioka) terhadap kualitas briket batu bara, seperti kepadatan dan kadar air didalam kandungan briket batu bara.
3. Menentukan komposisi optimal untuk menghasilkan briket batu bara berkualitas terbaik berdasarkan analisis menggunakan metode RSM.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka memuat sejumlah studi, penelitian, dan proyek akhir yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian ini. Beberapa di antaranya disajikan sebagai referensi pendukung berikut:

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka

No	Judul	Hasil
1.	Analisis karakteristik briket batu bara dengan berbagai jenis perekat alami [8].	Menunjukkan bahwa molase merupakan perekat yang efektif dalam pembuatan briket batu bara
2.	Pengaruh molase terhadap kadar air dan daya tahan briket [9].	Menjadi dasar dalam menentukan kadar molase optimal agar tidak mempengaruhi kadar air briket
3.	Peran tepung tapioka dalam meningkatkan kekuatan tekan dan kestabilan briket batu bara [10].	Menegaskan bahwa tepung tapioka dapat digunakan sebagai perekat tambahan dalam briket batu bara
4.	Studi pemanfaatan molase sebagai perekat dalam produksi briket [11].	Memperkuat argumen bahwa molase dapat menjadi alternatif perekatan alami dalam penelitian ini
5.	Analisis pengaruh tepung tapioka terhadap kualitas briket batu bara [12].	Menjadi dasar dalam menentukan peran kombinasi molase dan tepung tapioka dalam penelitian ini
6.	Penggunaan RSM untuk optimasi bahan perekat dalam pembuatan briket batu bara [13].	Mendukung penggunaan RSM sebagai metode optimasi dalam penelitian ini

No	Judul	Hasil
7.	Performance Improvement of Coal Dust Briquettes: Application of Taguchi Design and Pareto Analysis for Optimizing Key Processing Variables [14].	Mengkaji pengaruh parameter proses terhadap kekuatan tekan briket berbahan dasar serbuk batu bara dengan perekat molase, guna meningkatkan efisiensi proses produksinya. Metode yang digunakan adalah metode Taguchi, dengan empat parameter proses: persentase perekat (10%, 12,5%, 15%), tekanan (8 MPa, 10 MPa, 12 MPa), suhu (70°C, 90°C, 110°C), dan waktu pemanasan (60, 90, 120 menit). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pengeringan merupakan faktor paling berpengaruh dalam produksi briket.

Berdasarkan riset - riset di atas didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan kombinasi molase dan tepung tapioka memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas briket batu bara. Namun, optimasi lebih lanjut masih diperlukan untuk menentukan komposisi terbaik menggunakan metode RSM.

2.2 Briket Batu Bara

Briket batu bara merupakan bahan bakar padat yang terbuat dari batu bara dengan tambahan perekat untuk meningkatkan daya rekat dan kestabilan bentuknya. Briket ini memiliki berbagai keunggulan, seperti efisiensi pembakaran yang lebih baik, kadar abu yang rendah, serta emisi gas buang yang lebih terkendali dibandingkan dengan pembakaran batu bara curah [15].

Kualitas briket batu bara sangat dipengaruhi oleh jenis perekat yang digunakan serta proses pembuatannya [16]. Penggunaan perekat yang tepat dapat meningkatkan kepadatan dan kekuatan tekan briket sehingga lebih tahan lama saat penyimpanan dan transportasi. Contoh Briket Batu Bara dapat dilihat pada gambar (2.1).



Gambar 2. 1 Briket Batu Bara

2.3 Batu Bara

Batu bara adalah bahan bakar fosil yang terbentuk dari sisa – sisa tumbuhan yang mengalami proses dekomposisi selama jutaan tahun di bawah tekanan dan suhu tinggi. Batu bara terdiri dari unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan sulfur, serta memiliki kandungan energi yang tinggi, sehingga sering digunakan sebagai sumber dan pembangkit listrik [17]. Contoh Batu Bara dapat dilihat pada gambar (2.2).



Gambar 2. 2 Batu Bara

Batu bara diklasifikasikan berdasarkan tingkat karbonisasi yang dialaminya selama proses pembentukan. Semakin tinggi tingkat karbonisasi, semakin besar kandungan karbon dan energi yang dihasilkan oleh batu bara tersebut [18].

2.3.1. Klasifikasi Batu Bara

Batu bara diklasifikasikan berdasarkan tingkat karbonisasi dan kandungan energinya [19], yaitu:

1. Antrasit
 - Batu bara dengan kandungan karbon tertinggi (86-98%)
 - Memiliki nilai kalor tinggi dan kadar air rendah
 - Pembakaran lebih bersih dan efisien dibandingkan jenis lainnya
2. Bituminus
 - Kandungan karbon sekitar 45-86%
 - Digunakan dalam pembangkit listrik dan industri
 - Memiliki nilai kalor tinggi tetapi mengandung lebih banyak sulfur dibandingkan antrasit
3. Sub-bituminus
 - Kandungan karbon 35-45%
 - Nilai kalor lebih rendah dibandingkan bituminus
 - Biasanya digunakan dalam pembangkit listrik tenaga uap
4. Lignit
 - Batu bara dengan karbon terendah (25-35%)
 - Nilai kalor rendah dengan kadar air tinggi
 - Lebih sering digunakan dalam skala lokal karena efisiensi pembakarannya rendah

2.3.2. Karakteristik Batu Bara

Karakteristik batu bara sangat menentukan efisiensinya sebagai bahan bakar. Beberapa parameter utama yang menjadi indikator kualitas batu bara adalah:

- Nilai kalor: Menunjukkan jumlah energi yang dapat dihasilkan saat pembakaran
- Kadar air: Semakin tinggi kadar air, semakin rendah efisiensi pembakaran, serta pengukuran kadar air dilakukan dengan cara menimbang sampel sebelum dan sesudah dikeringkan dalam oven pada suhu tertentu.

Perhitungan kadar air dinyatakan dalam bentuk persentase (%), dengan rumus :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- W_1 = Berat awal briket sebelum dikeringkan
- W_2 = Berat akhir briket setelah dikeringkan
- Kandungan abu: Residu yang tersisa setelah pembakaran dapat mempengaruhi lingkungan.
- Kandungan sulfur: Menentukan tingkat emisi gas SO_2 yang dihasilkan selama pembakaran

Dalam pembuatan briket batu bara, pemilihan jeni batu bara dengan nilai kalor tinggi sangat penting untuk mendapatkan briket yang efisien dan ramah lingkungan.

2.4 Bahan Tambahan dalam Pembuatan Briket

2.4.1 Molase

Molase merupakan produk sampingan dari industri gula yang berwujud cairan kental berwarna coklat kehitaman dengan rasa manis. Kandungan utama molase meliputi gula reduksi, protein kasar, serat, lemak kasar dan abu. Dalam industri briket, molase sering digunakan sebagai perekat alami yang mampu meningkatkan kekuatan mekanik dan kepadatan briket. Selain itu, penggunaan molase sebagai perekat dapat mempercepat waktu perekatan dibandingkan dengan perekat lain seperti pati, karena kandungan *volatile matter* yang lebih mudah menguap.

Namun, perlu diperhatikan bahwa molase sebagai bahan perekat memiliki kelemahan, yaitu menghasilkan bau yang tidak sedap saat awal pembakaran [20]. Contoh molase dapat dilihat pada gambar (2.3).



Gambar 2. 3 Molase

Selain itu, molase memiliki sifat higroskopis yang dapat mempengaruhi kadar air dalam briket. Oleh karena itu, proporsi molase dalam campuran briket perlu dioptimalkan agar tidak menyebabkan penurunan efisiensi pembakaran.

2.4.2 Tepung Tapioka

Tepung tapioka adalah bahan perekat alami yang berasal dari ekstrak umbi singkong, sering digunakan sebagai perekat alami dalam pembuatan briket. Penambahan tepung tapioka berfungsi meningkatkan kohesi antar partikel bahan baku, menghasilkan briket dengan struktur yang lebih padat dan tahan lama [21].

Penggunaan tepung tapioka sebagai perekat dapat mempengaruhi karakteristik fisik briket, seperti kerapatan dan daya serap air. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar perekat tepung tapioka dapat meningkatkan kerapatan briket, namun juga berpotensi meningkatkan daya serap air yang dapat mempengaruhi kualitas penyimpanan briket. Contoh tepung tapioka dapat dilihat pada gambar (2.4).



Gambar 2. 4 Tepung Tapioka

Tepung tapioka memiliki keunggulan dibandingkan perekat sintetis karena sifatnya ramah lingkungan dan tidak menghasilkan emisi beracun saat pembakaran. Kombinasi molase dan tepung tapioka telah terbukti dapat meningkatkan efisiensi pembakaran serta stabilitas fisik briket batu bara [22].

2.5 Mesin Pres Hidrolik

Mesin pres hidrolik adalah perangkat yang bekerja berdasarkan prinsip fluida hidrolik untuk menghasilkan gaya tekan yang besar. Alat ini beroperasi dengan memanfaatkan tekanan dari fluida, biasanya minyak hidrolik yang dipompa ke dalam silinder untuk menggerakkan piston. Gerakan piston ini menciptakan gaya tekan yang digunakan dalam berbagai industri, seperti pencetakan, pengepresan, dan pembentukan material [23]. Dalam produksi briket batu bara, mesin pres hidrolik berperan dalam memadatkan campuran bahan baku dengan tekanan tinggi, sehingga menghasilkan briket dengan densitas optimal, daya tahan yang baik, serta nilai kalor yang tinggi [24]. Contoh mesin pres hidrolik dapat dilihat pada gambar (2.5).



Gambar 2. 5 Mesin Pres Hidrolik

2.6 Timbangan Digital

Timbangan digital merupakan alat ukur dengan tingkat akurasi tinggi yang digunakan dalam pembuatan briket batu bara untuk memastikan proporsi bahan baku sesuai formulasi, meminimalkan kesalahan pengukuran, serta mendukung kontrol kualitas dengan menjaga keseragaman bobot briket yang dihasilkan. Contoh timbangan digital dapat dilihat pada gambar (2.6).



Gambar 2. 6 Timbangan Digital

2.7 **Mesin *Heat treatment***

Mesin *heat treatment* memiliki peran krusial dalam pembuatan briket batu bara. Dengan menerapkan perlakuan panas yang tepat mesin ini membantu mengurangi kandungan air, memperkuat struktur mekanis, dan meningkatkan performa pembakaran briket.

Hasilnya, briket batu bara yang dihasilkan menjadi lebih tahan lama dan efisien dalam penggunaan energi, sehingga layak dijadikan alternatif bahan campuran pelebur timah. Contoh *heat treatment* dapat dilihat pada gambar (2.7).



Gambar 2. 7 *Heat Treatment*

2.8 **Gelas Plastik**

Pada tahap pencampuran bahan dalam proses pembuatan briket batu bara, diperlukan wadah yang mampu menampung seluruh komponen dengan aman dan praktis. Salah satu media yang umum digunakan adalah gelas plastik. Gelas ini dipilih karena memiliki bobot yang ringan, mudah diperoleh, serta tidak bereaksi terhadap bahan pencampur seperti molase dan tepung tapioka.

Fungsi utama gelas plastik dalam proses ini adalah sebagai tempat pencampuran awal, di mana bahan-bahan seperti serbuk batu bara, perekat, dan bahan tambahan lainnya digabungkan hingga membentuk adonan yang merata. Sifat transparan pada sebagian jenis gelas plastik juga memudahkan pengguna dalam mengamati tekstur dan keseragaman campuran secara visual. Contoh gelas plastik dapat dilihat pada gambar (2.8).



Gambar 2. 8 Gelas Plastik

2.9 Air

Air merupakan salah satu komponen penting dalam proses pembuatan briket batu bara, khususnya pada tahap pencampuran bahan. Penambahan air bertujuan untuk melarutkan perekat seperti molase atau tepung tapioka, sehingga bahan-bahan dapat tercampur lebih merata dan menghasilkan adonan yang mudah dicetak.

Jumlah air yang digunakan harus disesuaikan dengan jenis dan sifat bahan yang digunakan, agar kelembapan adonan berada pada tingkat yang optimal. Adonan yang terlalu kering dapat menyulitkan proses pencetakan dan menyebabkan briket mudah hancur, sementara adonan yang terlalu basah akan memperlambat proses pengeringan dan menurunkan kualitas briket. Contoh air dapat dilihat pada gambar (2.9).



Gambar 2. 9 Air

2.10 Cetakan Briket Batu Bara

Dalam proyek akhir ini, digunakan cetakan briket batu bara yang dirancang secara khusus untuk membentuk campuran batu bara, molase dan tepung tapioka menjadi briket berbentuk silinder. Cetakan ini dibuat dari bahan logam agar mampu menahan tekanan selama proses pencetakan serta tahan terhadap korosi dan suhu tinggi. Desain cetakan yang presisi bertujuan untuk menghasilkan briket dengan dimensi seragam dan kepadatan yang konsisten, sehingga mempermudah proses pengujian kualitas dan performa pembakaran. Contoh Cetakan dapat dilihat pada gambar (2.10).



Gambar 2. 10 Cetakan Briket Batu Bara

Untuk mengetahui volume briket yang dihasilkan dari proses pencetakan, digunakan rumus volume cetakan sebagai berikut:

$$V = \pi \times r^2 \times t \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

- V = Volume cetakan (cm^3)
- r = Jari – jari alasan cetakan (cm)
- t = Tinggi cetakan (cm)
- $\pi = 3,1416$

2.11 Optimasi Metode *Response Surface Methodology* (RSM)

Response Surface Methodology (RSM) merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengoptimalkan proses industri dengan menganalisis hubungan antara beberapa variabel beban terhadap variabel respon [25]. RSM dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi optimal dalam suatu proses dengan menggunakan desain eksperimen berbasis kuadratik.

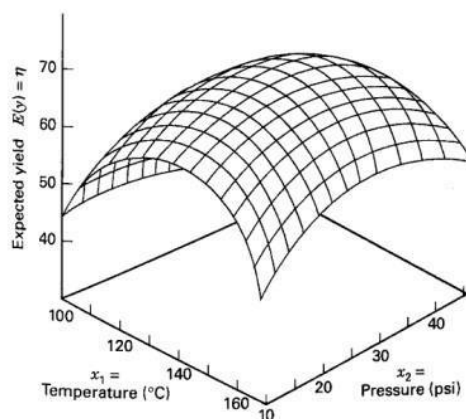
Dalam pendekatan respons permukaan, penting untuk secara cermat mempertimbangkan berbagai faktor. Langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan apakah persamaan yang digunakan merupakan fungsi orde pertama atau orde kedua. Memanfaatkan dua faktorial dengan dua taraf perlakuan untuk setiap perlakuan sudah cukup untuk fungsi terurut dalam hal desain eksperimen.

Rancangan permukaan respon tingkat pertama membutuhkan dua unit percobaan, sedangkan untuk permukaan respon tingkat kedua diperlukan empat unit percobaan, dengan k sebagai jumlah faktor perlakuan. Jika dibandingkan, desain faktorial $2k$ (untuk permukaan respon orde pertama) memerlukan lebih sedikit unit eksperimen. Sementara itu, untuk permukaan respon orde kedua, metode desain eksperimen yang dapat digunakan antara lain *Central Composite Design* (CCD) dan *Box–Behnken Design* (BBD). Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan *Central Composite Design* (CCD).

Menurut Montgomery (2020), salah satu contohnya adalah dengan menentukan kombinasi terbaik dari suhu (X_1) dan tekanan (X_2) guna memperoleh hasil respon yang optimal. Respon tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi matematis berdasarkan tingkat atau level dari suhu dan tekanan tersebut.

$$y = f(X_1, X_2) + \varepsilon \dots\dots\dots (2.3)$$

ε adalah kesalahan dalam respon y untuk menyatakan respon optimal yaitu $E(y) = f(X_1, X_2) = \eta$, maka $\eta = f(X_1, X_2)$ disebut dengan permukaan respon yang mewakili sebuah permukaan [26]. Grafik pada gambar (2.11) di bawah mengilustrasikan permukaan respon.



Gambar 2. 11 Grafik *Respons Surface* (Montgomery, 2020)

Karena bentuk hubungan antara respons (y) dan variabel independen (X) pada awalnya belum diketahui, pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) digunakan untuk menentukan strategi yang sesuai, sehingga memungkinkan untuk memahami karakteristik hubungan sebenarnya antara X dan Y. Jika hubungan tersebut bersifat linier, maka model orde pertama merupakan pendekatan yang digunakan. Bentuk umum model orde pertama ditampilkan pada persamaan (2.10) berikut ini (Montgomery, 2020).

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

Jika hubungan antara respon (y) dan variabel bebas (x) berbentuk kuadratik, maka pendekatan yang digunakan disebut sebagai model orde dua (second order model). Persamaan model orde dua ini dapat dinyatakan melalui persamaan berikut.

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

Dalam penelitian terkait briket batu bara, menggunakan metode RSM untuk menentukan kombinasi terbaik antara bahan baku dan perekat guna meningkatkan efisiensi pembakaran. Semetara itu hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan perekat mempengaruhi kualitas briket yang dihasilkan [27].

- *Central Composite Design* (CCD)

Untuk menerapkan RSM, Penelitian ini menerapkan pendekatan *Design of Experiment* (DOE) dengan menggunakan metode *Central Composite Design* (CCD) karena dinilai lebih efektif dalam menemukan titik optimum. Tahapan analisis dengan RSM meliputi:

1. Menentukan variabel bebas dan variabel terikat.
2. Melakukan eksperimen berdasarkan desain CCD.
3. Mengembangkan model kuadratik untuk hubungan variabel input - output.
4. Menganalisis respon menggunakan *software* seperti *excel*.
5. Menentukan titik optimal berdasarkan analisis *contour plot* dan *surface plot*.

Dalam penelitian ini, metode RSM digunakan untuk menentukan kombinasi optimal campuran molase dan tepung tapioka yang menghasilkan briket batu bara dengan karakteristik terbaik. Variabel - variabel yang dianalisis adalah:

a. Variabel bebas (independen):

- Konsentrasi molase (%)
- Konsentrasi tepung tapioka (%)
- Suhu (°C)
- Waktu (Menit)
- Tekanan pengepresan (Mpa)

b. Variabel terikat (dependen):

- Kekuatan tekan briket (Kpa)
- Kadar air (gram)

Dalam penelitian ini, digunakan model orde kedua (kuadratik) dalam metode RSM untuk mengoptimasi proses pembuatan briket batu bara. Model ini dipilih karena mampu menangkap efek linier, interaksi antar variabel, serta efek kuadratik (melengkung) yang sering kali terjadi dalam proses manufaktur kompleks.

Menurut Montgomery (2020), model kuadratik merupakan bentuk umum yang efektif untuk mengevaluasi dan mengoptimasi sistem multivariabel dalam konteks desain eksperimen. Model ini dinyatakan dalam bentuk umum sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \dots\dots\dots (2.6)$$

Di mana:

- “Y = respon (misalnya, kekerasan briket batu bara)
- “X_i = variabel bebas (misalnya, konsentrasi molase, suhu, tekanan, waktu)
- “β₀ = intersep (konstanta)
- “β_i = koefisien efek linier
- “β_{ii} = koefisien efek kuadratik
- “β_{ij} = koefisien interaksi antara variabel i dan j
- “ε = error acak

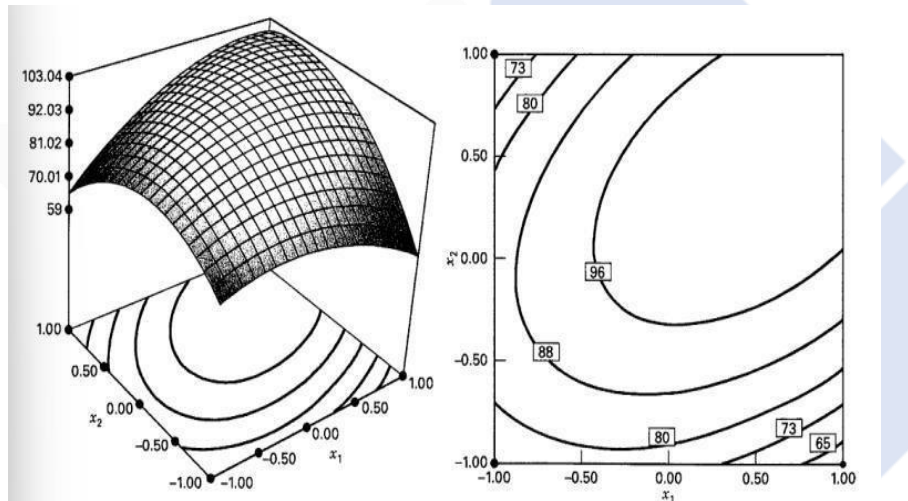
- Analisis *Second Order*

Perkiraan nilai respon berdasarkan variabel bebas menggunakan pendekatan regresi dapat dinyatakan melalui persamaan berikut (Montgomery, 2020):

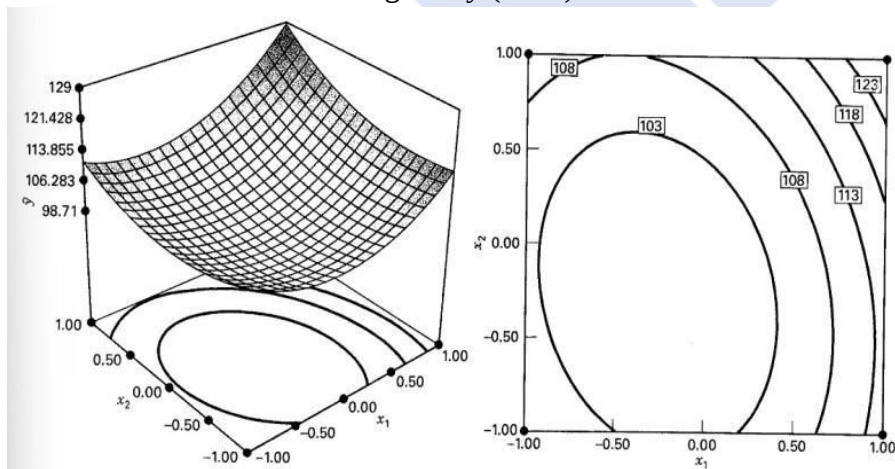
$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T y \dots\dots\dots (2.7)$$

- Mencari Titik *Stationary*

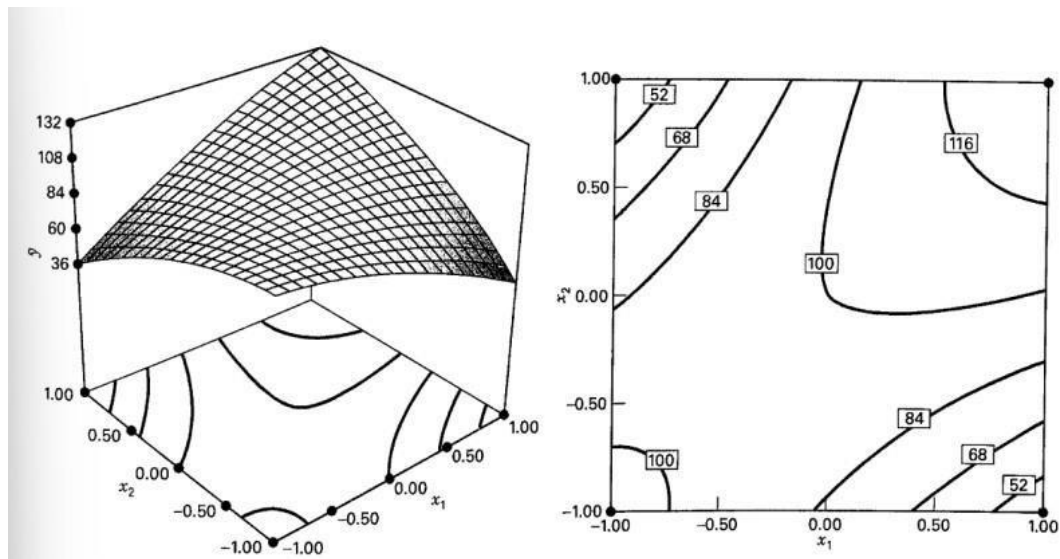
Menurut pembahasan Montgomery (2020) bahwa *stationary-point* untuk menentukan titik optimasi dari variabel bebas (x) sehingga titik optimasi tersebut dapat mengoptimalkan respon. Titik dapat mewakili titik respon maksimum gambar (2.12), titik respon minimum gambar (2.13), atau *saddle-point* gambar (2.14).



Gambar 2. 12 Respon Permukaan dan *Plot Contour* Pada Posisi Maximum Montgomery (2020)



Gambar 2. 13 Respon Permukaan dan *Plot Contour* Pada Posisi Minimum Montgomery (2020)



Gambar 2. 14 Respon Permukaan dan *Plot Contour* Pada *Saddle-point*

Montgomery (2020)

Persamaan untuk menentukan titik stasioner dapat dituliskan dalam bentuk matriks seperti yang ditunjukkan oleh Montgomery (2020):

$$X_0 = -\frac{1}{2} B^{-1} b \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \text{ dan } B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2 & \dots & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22} & \dots & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ \text{sym.} & & \ddots & \\ & & & \hat{\beta}_{kk}/2 \end{bmatrix} =$$

Persamaan untuk memperoleh nilai optimal dari variabel bebas berdasarkan titik stasioner (X_0) dapat diperoleh melalui langkah-langkah berikut (Montgomery, 2020):

$$x_i = \frac{\text{Variabel bebas-center-point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum-minimum})} \dots\dots\dots (2.9)$$

Persamaan untuk memprediksi nilai respon pada titik stasioner disajikan dalam persamaan berikut (Montgomery, 2020):

$$\hat{Y}_0 = \beta + \frac{1}{2} x_0' b \dots\dots\dots (2.10)$$

- Model *Canonical*

Setelah titik stasioner diperoleh, langkah selanjutnya adalah menentukan jenis titik tersebut apakah merupakan titik maksimum, minimum, atau *saddle-point* dengan menggunakan analisis kanonikal (Montgomery, 2020). Bentuk model kanonikal dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\hat{y} = \hat{Y}_0 + \lambda_1 \omega_1^2 + \lambda_2 \omega_2^2 + \dots + \lambda_k \omega_k^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Menurut Montgomery (2020), nilai λ_i digunakan untuk mengidentifikasi bentuk dari permukaan respon. Titik x_0 dikatakan sebagai titik maksimum apabila semua nilai λ_i bernilai negatif, sebagai titik minimum jika seluruh λ_i bernilai positif, dan sebagai titik pelana (*saddle point*) apabila tanda dari λ_i bervariasi atau tidak seragam.

- Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan tahapan awal yang penting dalam analisis statistik, khususnya saat menerapkan metode parametrik seperti regresi linear, ANOVA, atau uji-t. Tujuan dari uji ini adalah untuk memverifikasi bahwa data memiliki distribusi normal, sehingga hasil analisis yang diperoleh bersifat sahih dan dapat dipercaya.

Hasil dari uji normalitas mengindikasikan bahwa data memiliki distribusi yang normal yang memungkinkan penggunaan metode statistik parametrik dalam analisis lebih lanjut. Jika data tidak berdistribusi normal, alternatif seperti transformasi data atau metode non-parametrik dapat dipertimbangkan untuk memastikan validitas hasil analisis [28].

- Analisis Varian (ANOVA)

Analisis Varian (ANOVA) untuk menguji signifikansi pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel respon. ANOVA memungkinkan peneliti untuk menentukan apakah perbedaan rata-rata antar kelompok perlakuan adalah signifikan secara statistik atau hanya disebabkan oleh variasi acak, untuk menguji signifikansi pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel respon.

ANOVA merupakan metode statistik yang digunakan untuk membandingkan nilai rata-rata dari tiga kelompok atau lebih, dengan syarat bahwa data berdistribusi normal dan memiliki kesamaan varians (homogenitas varians). ANOVA membantu dalam mengidentifikasi apakah setidaknya satu kelompok berbeda secara signifikan dari yang lain [29].

Dalam analisis regresi berganda, total variasi dari data respon (YYY) dapat dibagi menjadi tiga komponen utama, yaitu:

- SST (*Total Sum of Squares*): Total variasi dari data terhadap rata-rata respon.
- SSR (*Regression Sum of Squares*): Variasi yang dapat dijelaskan oleh model regresi.
- SSE (*Error Sum of Squares*): Variasi yang tidak dapat dijelaskan oleh model atau kesalahan/residual.

Hubungan antara ketiganya dituliskan dalam rumus berikut:

$$SST = SSR + SSE \dots \dots \dots (2.12)$$

$$SSR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

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

$$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Konsep ini penting dalam mengevaluasi seberapa baik model regresi menjelaskan variasi dalam data. SSR yang tinggi dan SSE yang rendah menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediktif yang baik [30].

Tabel (2.2) ANOVA menunjukkan pembagian sumber variasi dari model regresi berganda menjadi tiga komponen utama, yaitu regresi, residual dan total. Nilai-nilai SSR (*Sum of Squares for Regression*), SSE (*Sum of Squares for Error*), dan SST (*Total Sum of Squares*) masing-masing dihitung untuk menilai proporsi variasi yang dijelaskan oleh model terhadap variasi total.

Tabel 2. 2 Anova Regresi Berganda

Source	DoF	Sum Of Square	Mean of Square	F – Value	F – Tabel
Regresi	k	SSR	MSR	MSR/MSE	F(k,n-k-1:α)
Residual	n – k – 1	SSE	MSE		

Total	$n - 1$	SST
-------	---------	-----

Dengan menghitung MSR (*Mean Square Regression*) dan MSE (*Mean Square Error*), kemudian diperoleh nilai F-hitung sebagai rasio MSR terhadap MSE. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan F-tabel pada derajat kebebasan tertentu ($n - k - 1$) dan tingkat signifikansi α , untuk menentukan apakah model regresi signifikan.

Uji F dalam regresi digunakan untuk menguji hipotesis bahwa semua koefisien regresi sama dengan nol. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka hipotesis nol ditolak dan model dianggap signifikan. [31].

- Uji Ketidaksesuaian Persamaan (*Lack of Fit*)

Montgomery (2020) menyatakan bahwa ketidaksesuaian persamaan regresi dipastikan menggunakan statistik *Lack of Fit*. Analisis varian dapat digunakan untuk penilaian ketidaksesuaian. $SSE = SSPE + SSLOF$ adalah rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah kuadrat SSE, dimana SSPE mewakili jumlah kuadrat karena kesalahan murni dan SSLOF mewakili jumlah kuadrat karena kurangnya kecocokan. Jadi berikut persamaan SSPE dan SSLOF. (Montgomery, 2020):

$$SS_{PE} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_i)^2 \dots\dots\dots (2.13)$$

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

Kualitas persamaan regresi dievaluasi dengan menggunakan koefisien determinasi. Dengan memahami nilai koefisien determinasi (*R-square*), maka persamaan regresi tersebut dapat mewakili keadaan (fakta) yang sebenarnya. Nilai yang paling mendekati 1 dimana $0 \leq R^2 < 1$ merupakan nilai koefisien determinasi optimal. (Montgomery, 2020).

Persamaan berikut menampilkan hasil perhitungan koefisien determinasi. (Montgomery, 2020):

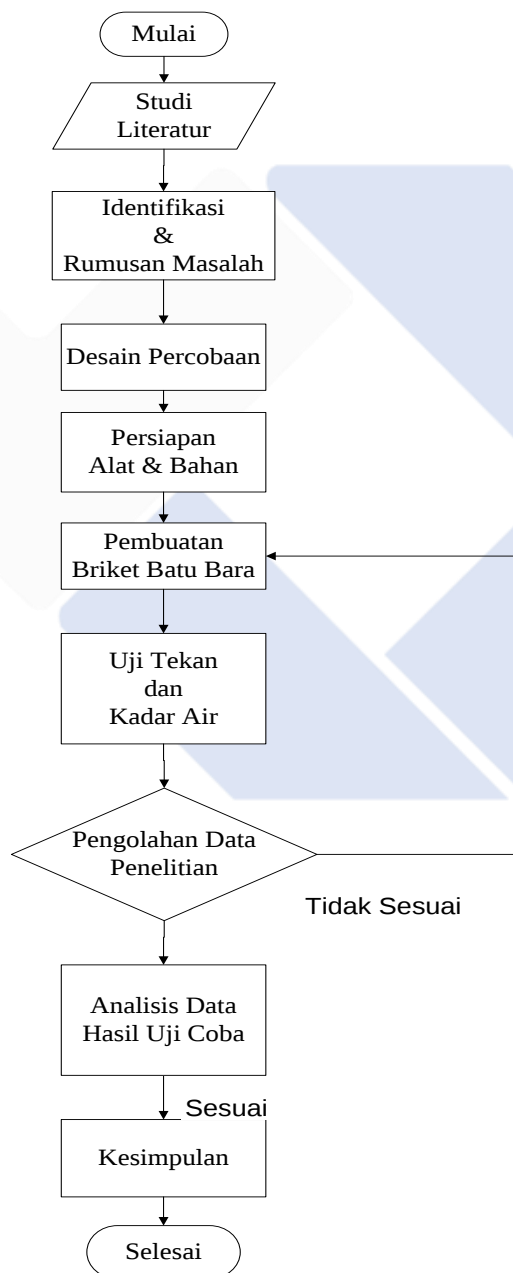
$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}} \dots\dots\dots (2.14)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahap-tahap Kegiatan

Kegiatan - kegiatan yang dilaksanakan pada proyek akhir ini dirancang sesuai dengan tahapan pelaksanaan dalam bentuk diagram alir pada Gambar (3.1)



Gambar 3. 1 *Flowchart* Tahapan Kegiatan

3.2 Studi Literatur

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data-data tertulis mengenai pembuatan briket menggunakan campuran molase dan tepung tapioka, serta hasil penelitian yang menggunakan metode penelitian RSM melalui sumber referensi yang didapatkan dari jurnal, buku, laporan penelitian, tulisan ilmiah, dan artikel yang didapatkan dari sumber-sumber bereputasi.

3.3 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Penelitian dilakukan sebab adanya suatu masalah yang berpotensi untuk dipecahkan solusinya. Untuk itu, saat awal prosesnya diperlukan identifikasi masalah. Proses ini dilakukan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai masalah yang perlu diteliti dengan cara mengamati pokok permasalahannya. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang berkaitan dengan permasalahan pokok masalah yang akan diteliti yaitu dengan mengumpulkan informasi serta data yang berasal dari penelitian sebelumnya. Hal tersebut dapat membantu menambah wawasan sehingga dapat mencapai tujuan yang diinginkan pada tahap studi literatur dan observasi dalam pembuatan briket batu bara serta masalah sekaligus penyusunan rencana kerjanya.

3.4 Design Percobaan

Ilmu yang mempelajari penyusunan kerangka dasar untuk mengumpulkan data pada objek dengan variasi menggunakan konsep statistik dikenal sebagai desain eksperimen. Penentuan jumlah sampel dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode CCD yang termasuk dalam kategori RSM. Desain CCD digunakan untuk mengevaluasi pengaruh dan interaksi antara beberapa variabel bebas terhadap variabel respon secara efisien. Rumus total sampel CCD terdiri dari:

$$N = 2^k + 2k + n_c \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :

- k = jumlah faktor (variabel bebas)
- n_c = jumlah titik pusat (*center point*)

Desain eksperimen yang digunakan adalah tipe *face-centered* CCD dengan melibatkan empat faktor, yaitu persentase binder, suhu, tekanan, dan waktu pemanasan. Jumlah kombinasi perlakuan ditentukan secara manual berdasarkan struktur dasar CCD, yang terdiri dari tiga jenis titik desain, yaitu:

1. Titik faktorial (*factorial points*) sebanyak 2^k , dengan $k = 4$ faktor, sehingga diperoleh $2^4 = 16$
2. Titik aksial (*axial/star points*) sebanyak $2k = 8$ titik, yang merepresentasikan kondisi ekstrem dari masing-masing faktor.
3. Titik pusat (*center points*) sebanyak 5 ulangan, yang ditempatkan pada kombinasi nilai tengah dari keempat faktor. Titik ini berfungsi untuk mengestimasi kesalahan eksperimental serta mendeteksi kemungkinan kelengkungan pada permukaan respon.

Berdasarkan perhitungan tersebut, total jumlah kombinasi sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak:

$$\begin{aligned}
 N &= 2^k + 2k + n_c \\
 N &= 2^4 + 2 \times 4 + 5 \\
 &= 29 \text{ Sampel}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan manual di atas, dapat diketahui bahwa rancangan eksperimen dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk kode variabel, seperti yang ditampilkan pada tabel (3.1) Desain Percobaan dalam format kode berikut:

Tabel 3. 1 Desain Percobaan Dalam Bentuk Kode

No	Binder	Suhu	Tekanan	Waktu
1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
2	-1.0	-1.0	-1.0	1.0
3	-1.0	-1.0	1.0	-1.0
4	-1.0	-1.0	1.0	1.0
5	-1.0	1.0	-1.0	-1.0
6	-1.0	1.0	-1.0	1.0
7	-1.0	1.0	1.0	-1.0
8	-1.0	1.0	1.0	1.0
9	1.0	-1.0	-1.0	-1.0
10	1.0	-1.0	-1.0	1.0

No	Binder	Suhu	Tekanan	Waktu
11	1.0	-1.0	1.0	-1.0
12	1.0	-1.0	1.0	1.0
13	1.0	1.0	-1.0	-1.0
14	1.0	1.0	-1.0	1.0
15	1.0	1.0	1.0	-1.0
16	1.0	1.0	1.0	1.0
17	-1.0	0.0	0.0	0.0
18	1.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	-1.0	0.0	0.0
20	0.0	1.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	-1.0	0.0
22	0.0	0.0	1.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	-1.0
24	0.0	0.0	0.0	1.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	0.0	0.0

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dirancang tabel *design* eksperimen dalam bentuk aslinya atau angka. Adapun tabel variabel bebas dan level perlakuan dapat dilihat pada tabel 3.2, serta *design* eksperimen dapat dilihat pada tabel (3.3) desain eksperimen berikut:

Tabel 3. 2 Variabel Bebas dan Level Perlakuan

No	Variabel	Level		
		-1	0	+1
1.	Persentase Binder (%)	10,0	12,5	15
2.	Suhu Pengeringan (°C)	70	90	110
3.	Tekanan Pengepresan (Mpa)	8	10	12
4.	Waktu Pemanasan (Menit)	60	90	120

Tabel 3. 3 Desain Eksperimen

No	Variabel			
	Binder (%)	Suhu (°C)	Tekanan (MPa)	Waktu (menit)
1	10.0	70.0	8.0	60.0
2	10.0	70.0	8.0	120.0
3	10.0	70.0	12.0	60.0
4	10.0	70.0	12.0	120.0
5	10.0	110.0	8.0	60.0
6	10.0	110.0	8.0	120.0
7	10.0	110.0	12.0	60.0
8	10.0	110.0	12.0	120.0
9	15.0	70.0	8.0	60.0
10	15.0	70.0	8.0	120.0
11	15.0	70.0	12.0	60.0
12	15.0	70.0	12.0	120.0
13	15.0	110.0	8.0	60.0
14	15.0	110.0	8.0	120.0
15	15.0	110.0	12.0	60.0
16	15.0	110.0	12.0	120.0
17	10.0	90.0	10.0	90.0
18	15.0	90.0	10.0	90.0
19	12.5	70.0	10.0	90.0
20	12.5	110.0	10.0	90.0
21	12.5	90.0	8.0	90.0
22	12.5	90.0	12.0	90.0
23	12.5	90.0	10.0	60.0
24	12.5	90.0	10.0	120.0
25	12.5	90.0	10.0	90.0
26	12.5	90.0	10.0	90.0
27	12.5	90.0	10.0	90.0
28	12.5	90.0	10.0	90.0
29	12.5	90.0	10.0	90.0

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas, yang juga disebut sebagai faktor kontrol, merupakan variabel yang berada di bawah kendali peneliti. Nilai dari variabel ini dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tujuan dari penelitian serta faktor-faktor relevan lainnya. Adapun variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

a. Binder (*Presentase* Campuran)

Pada penelitian ini, campuran bahan perekat (binder) digunakan dalam tiga variasi konsentrasi, yaitu 10%, 12,5%, dan 15% dari total berat. Bahan perekat tersebut diperoleh dari PT Timah Tbk, dengan total massa campuran yang digunakan dalam setiap sampel sebesar 25 gram. Perhitungan binder bisa dilihat dibawah ini:

- 10% dari 25 gram = 2,5 gram, sehingga molase yaitu 1,5 gram dan air yaitu 1,0 gram
- 12,5% dari 25 gram = 3,125 gram, sehingga molase yaitu 1,88 gram dan air yaitu 1,25 gram
- 15% dari 25 gram = 3,75 gram, sehingga molase yaitu 2,25 gram dan air yaitu 1,5 gram

Sedangkan tepung tapioka ditambahkan secara konsisten dengan berat 1,25 gram di setiap variasi. Penambahan jumlah tepung tapioka tidak ditingkatkan menjadi 2 gram atau lebih karena hal tersebut dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kekuatan mekanik briket, sehingga dapat menutupi atau mengaburkan pengaruh utama dari variasi molase dan air yang menjadi fokus dalam penelitian ini. Dalam konteks metode *Response Surface Methodology* (RSM), penambahan variabel yang tidak dimasukkan secara eksplisit ke dalam rancangan percobaan, seperti variasi jumlah tapioka, dapat menciptakan variabel tersembunyi yang mengganggu validitas pemodelan matematis dan prediksi respon. Selain itu, penambahan tepung tapioka secara berlebih juga berisiko menyebabkan campuran adonan menjadi terlalu kaku, sulit tercetak, atau bahkan rapuh setelah proses pengeringan, yang pada akhirnya dapat menurunkan kualitas fisik briket yang dihasilkan.

b. Suhu Pengeringan (°C)

Dalam penelitian ini, suhu pengeringan yang diterapkan adalah sebesar 70 °C, 90 °C, dan 110 °C.

c. Waktu Pengeringan (Menit)

Durasi pengeringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah selama 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

d. Tekanan Pengepresan (Mpa)

Tekanan pengepresan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah sebesar 8 MPa, 10 MPa, dan 12 MPa.

3.4.2 Variabel Tetap

Variabel yang tidak diteliti dalam penelitian disebut variabel konstan. Nilai faktor ini secara konsisten dipertahankan sepanjang percobaan untuk memastikan bahwa faktor tersebut tidak memiliki dampak yang terlihat pada temuan penelitian yaitu, bentuk cetakan briket batu bara yang tidak berubah-ubah.

3.4.3 Variabel Respon

Variabel respon adalah variabel yang nilainya belum diketahui sebelumnya dan dipengaruhi oleh perlakuan atau faktor yang diuji, di mana hasilnya baru dapat diketahui setelah percobaan selesai dilakukan. Dalam penelitian ini, kekuatan tekan dan kadar air briket batu bara dijadikan sebagai variabel respon

3.5 Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum memulai penelitian, dilakukan terlebih dahulu persiapan terhadap bahan-bahan campuran yang dibutuhkan, seperti molase, batu bara, tepung tapioka, serta peralatan yang akan digunakan, antara lain mesin pres hidrolik, cetakan briket, timbangan, mesin uji tekan, dan berbagai perkakas pendukung lainnya, sebagaimana dijelaskan berikut ini:

3.5.1 Alat Penelitian

Beragam peralatan yang digunakan selama proses penelitian di laboratorium Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung meliputi:

- a. Cetakan Briket
- b. Timbangan Digital
- c. Mesin Pres Hidrolik
- d. Gelas Plastik
- e. *Heat Treatment*

3.5.2 Alat Uji Kekerasan

Alat uji kekerasan merupakan perangkat yang digunakan untuk menentukan tingkat kekerasan suatu material, yaitu kemampuan material tersebut dalam menahan penetrasi atau deformasi plastis akibat gaya tekan yang diberikan. Pengujian kekerasan menjadi salah satu metode penting dalam evaluasi sifat mekanik bahan, khususnya untuk logam, polimer, dan komposit. Pada penelitian kali ini kami menggunakan alat uji kekerasan yaitu mesin *Zwick Roell Z020* sebagai alat uji kekerasan yang digunakan. Gambar mesin *Zwick Roell Z020* dapat dilihat pada gambar (3.2).



Gambar 3. 2 Mesin *Zwick Roell Z020*

3.5.3 Bahan Penelitian

Dalam penelitian yang dilaksanakan terdapat bahan yang digunakan berdasarkan batasan penelitian untuk mencapai hasil akhir. Bahan penelitian yang digunakan dalam proses penelitian antara lain:

a. Batu Bara Antrasit

Batu bara adalah bahan utama pada penelitian kali ini, dengan menggunakan bahan batu bara antrasit.

b. Tepung Tapioka

Tepung tapioka dipakai pada penelitian ini untuk digunakan sebagai perekat dalam pembuatan briket batu bara.

c. Molase

Molase juga adalah bahan pada penelitian kali ini yang dimana digunakan sebagai perekat juga pada pembuatan briket batu bara.

d. Air

Air pada penelitian ini digunakan sebagai bahan untuk mencampurkan dua bahan perekat, sehingga bahan yang digunakan untuk perekat bisa menyatu secara maksimal.

3.6 Pembuatan Briket Batu Bara

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengambilan data penelitian adalah sebagai berikut:

3.6.1 Persiapan Bahan dan Alat

Langkah awal dalam pengambilan data adalah menyiapkan serbuk batu bara, molase, dan tepung tapioka sebagai bahan utama. Proporsi bahan perekat disesuaikan berdasarkan desain eksperimen. Bahan ditimbang dengan timbangan digital untuk memastikan ketepatan massa sesuai rencana percobaan.

Peralatan yang digunakan meliputi:

- Timbangan digital
- Mesin pres hidrolik
- Gelas plastik pencampur
- Cetakan briket berbentuk silinder
- Mesin *heat treatment*
- Alat uji kekuatan tekan

3.6.2 Penimbangan Bahan

Sebelum proses pencampuran dilakukan, semua bahan utama yaitu serbuk batu bara, molase, dan tepung tapioka ditimbang terlebih dahulu menggunakan timbangan digital. Penimbangan dilakukan dengan cermat berdasarkan komposisi yang telah ditentukan dalam desain eksperimen untuk memastikan akurasi dan konsistensi setiap perlakuan. Penimbangan dilakukan secara terpisah untuk masing-masing bahan. Proses Penimbangan bahan dapat dilihat pada gambar (3.3) dan (3.4).



Gambar 3. 3
Penimbangan Air dan Molase



Gambar 3. 4
Penimbangan Batu Bara Antrasit

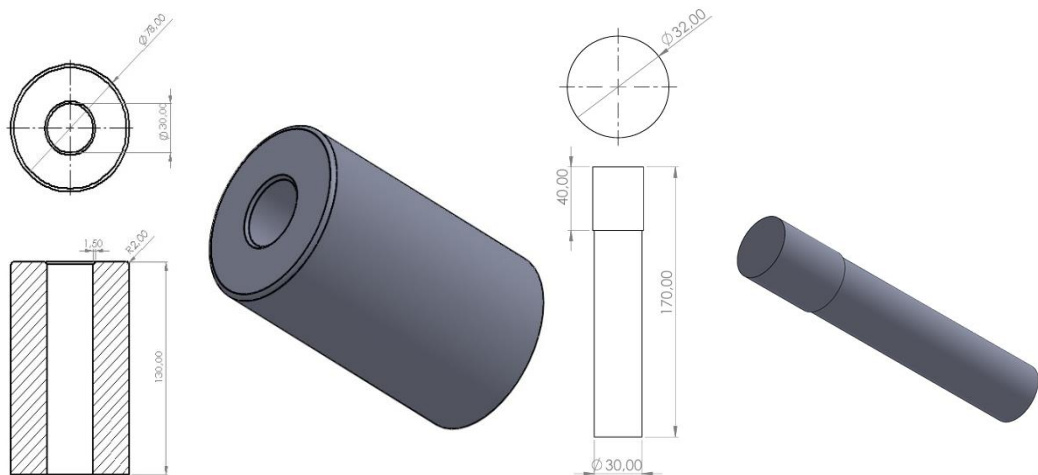
Tabel 3. 4 Spesifikasi Timbangan Digital *Type NANKAI Japan Technology*

Spesifikasi	Keterangan
Model	NANKAI Japan Technology
Jenis	Timbangan Digital
Kapasitas Maksimal	10.000 gram (10000 g)
Ketelitian	1 gram (1 g)
Kapasitas dalam Oz	353 oz
Ketelitian dalam Oz	0.1 oz
Sumber Daya	Baterai (umumnya AA/AAA) atau adaptor listrik
Layar	LCD digital
Fungsi Tambahan	Tare (pengurangan berat wadah), auto-off, unit konversi

3.6.3 Proses Pencampuran dan Pencetakan Briket

Setiap kombinasi perlakuan dari desain CCD dilakukan dengan langkah:

1. Air dan molase dicampurkan ke dalam gelas plastik dengan perbandingan konsentrasi yang telah ditentukan berdasarkan rancangan eksperimen. Proses pencampuran dilakukan secara manual menggunakan putaran yang konstan selama 30 detik.
2. Serbuk batu bara kemudian dicampur dengan tepung tapioka, setelah kedua bahan itu dicampurkan maka dilakukan pencampuran kembali terhadap larutan perekat yang telah disiapkan pada langkah sebelumnya, menggunakan gelas plastik dan konsentrasi yang sesuai dengan rancangan eksperimen. Proses ini juga dilakukan secara manual dengan pengadukan konstan selama 1 menit.
3. Campuran yang telah tercampur merata dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk silinder dan dipadatkan menggunakan mesin pres hidrolik. Bentuk cetakan dan ukuran dapat dilihat pada gambar (3.5).



Gambar 3. 5 Cetakan Briket Batu Bara

Cetakan briket yang digunakan memiliki diameter luar 78 mm dan tinggi 130 mm, dengan diameter dalam ruang cetakan sebesar 30 mm yang dimana memiliki tirus dengan ukuran 1,5 mm dan radius luar yaitu 2 mm. Penekan cetakan briket yang memiliki diameter atas yaitu 32 mm dengan diameter bawah yaitu 30 mm dan tinggi penekan yaitu 170 mm.

Volume cetakan dihitung menggunakan persamaan (2.2), sehingga perhitungan pada volume cetakan sebagai berikut:

$$V = \pi \times r^2 \times t = 3,1416 \times (1,5 \text{ cm})^2 \times 11,5 \text{ cm} = 81,3 \text{ cm}^3$$

4. Tekanan yang digunakan disesuaikan dengan variabel yang telah ditentukan. Pemadatan dilakukan secara perlahan dan diawasi secara berkala untuk memastikan bahwa tekanan tetap stabil selama proses berlangsung, sehingga tidak terjadi penurunan tekanan yang dapat mempengaruhi kualitas briket pada tahap pemadatan. Proses pengepresan pembentukan briket dapat dilihat pada gambar (3.6).



Gambar 3. 6 Proses Pengepresan Pembentukan Briket

3.6.4 Proses Pengeringan (*Heat Treatment*)

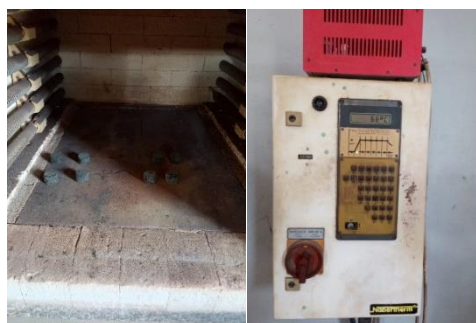
Briket hasil pencetakan dikeringkan dalam oven atau mesin *heat treatment* pada suhu dan waktu sesuai desain percobaan. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan kekuatan struktur briket yang dimana pada perlakuan pemanasan akan dikategorikan sesuai dengan suhu serta waktu pemanasannya. Tabel kategori pengeringan dapat dilihat pada tabel (3.5).

Tabel 3. 5 Kategori Pengeringan

No	Variabel			
	Binder (%)	Suhu (°C)	Tekanan (MPa)	Waktu (menit)
1	10.0	70.0	8.0	60.0
2	10.0	70.0	8.0	120.0
3	10.0	70.0	12.0	60.0
4	10.0	70.0	12.0	120.0
5	10.0	110.0	8.0	60.0
6	10.0	110.0	8.0	120.0
7	10.0	110.0	12.0	60.0

No	Variabel			
	Binder (%)	Suhu (°C)	Tekanan (MPa)	Waktu (menit)
8	10.0	110.0	12.0	120.0
9	15.0	70.0	8.0	60.0
10	15.0	70.0	8.0	120.0
11	15.0	70.0	12.0	60.0
12	15.0	70.0	12.0	120.0
13	15.0	110.0	8.0	60.0
14	15.0	110.0	8.0	120.0
15	15.0	110.0	12.0	60.0
16	15.0	110.0	12.0	120.0
17	10.0	90.0	10.0	90.0
18	15.0	90.0	10.0	90.0
19	12.5	70.0	10.0	90.0
20	12.5	110.0	10.0	90.0
21	12.5	90.0	8.0	90.0
22	12.5	90.0	12.0	90.0
23	12.5	90.0	10.0	60.0
24	12.5	90.0	10.0	120.0
25	12.5	90.0	10.0	90.0
26	12.5	90.0	10.0	90.0
27	12.5	90.0	10.0	90.0
28	12.5	90.0	10.0	90.0
29	12.5	90.0	10.0	90.0

Pada Tabel 3.5, setiap baris menunjukkan satu perlakuan eksperimen, dimana parameter suhu, tekanan dan waktu disesuaikan untuk mempelajari pengaruhnya terhadap karakteristik akhir briket. Variasi suhu 70 °C, 90 °C dan 110 °C digabungkan dengan pilihan kadar binder 10 %, 12,5 % dan 15 %, serta tekanan 8 MPa, 10 MPa, atau 12 MPa. Waktu pemanasan diatur pada 60 menit, 90 menit, atau 120 menit sesuai rancangan RSM. Proses pengeringan dapat dilihat pada gambar (3.7).



Gambar 3. 7 Proses Pengeringan

3.7 Pengujian Uji Tekan dan Kadar Air

Setelah proses pencetakan dan pengeringan selesai dilaksanakan, tahap selanjutnya adalah pengambilan data penelitian melalui pengujian, yaitu uji tekan dan uji kadar air. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai prosedur pengambilan data untuk masing-masing jenis pengujian.

1. Pengujian Tekan

Setelah proses pembuatan briket batu bara selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap respon berupa kekerasan briket. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur seberapa kuat briket dalam menahan gaya tekan yang mencerminkan ketahanan mekanis serta kualitas fisik briket yang terbentuk dari kombinasi bahan perekat dan kondisi proses. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Zwick Roell Z020*, yaitu mesin uji tekan universal yang memiliki tingkat akurasi tinggi dan dilengkapi dengan sistem kontrol digital. Sampel briket batu bara yang telah dikeringkan kemudian diletakkan pada plat uji mesin. Uji tekan dilakukan dengan kecepatan tekan yang telah ditentukan sebelumnya sesuai standar pengujian material. Tekanan diaplikasikan secara bertahap hingga briket mengalami kerusakan atau kehancuran total, data yang dihasilkan berupa gaya maksimum (N) yang mampu ditahan oleh briket sebelum mengalami kerusakan.

Nilai ini kemudian dikonversi menjadi nilai kekerasan tekan dalam satuan kPa dengan membagi gaya maksimum terhadap luas penampang permukaan briket. Proses ini diulang untuk seluruh sampel berdasarkan desain eksperimen dengan tujuan memperoleh data yang representatif. Pengujian tekan dapat dilihat pada gambar (3.8).



Gambar 3. 8 Pengujian Tekan

2. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui jumlah kandungan air yang tersisa di dalam briket setelah melalui proses pencetakan dan pengeringan. Kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam penilaian kualitas briket, terutama karena berpengaruh terhadap kestabilan struktur dan potensi penyimpanan jangka panjang.

Pada penelitian ini, kadar air diuji dengan metode pengeringan *heat treatment*. Sampel briket ditimbang sebelum dan sesudah proses pemanasan menggunakan *heat treatment*. Selisih berat tersebut digunakan untuk menghitung kadar air berdasarkan rumus:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots (3.2)$$

Setiap sampel diuji satu per satu menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Proses ini dilakukan secara berulang untuk seluruh sampel berdasarkan desain eksperimen sebanyak 29 kombinasi perlakuan. Data yang diperoleh kemudian direkapitulasi untuk dianalisis dan dikaitkan dengan variabel perlakuan seperti konsentrasi perekat, suhu, tekanan, dan waktu pemanasan.

Pengujian kadar air ini bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi perlakuan yang menghasilkan briket dengan kadar air rendah, sehingga lebih stabil secara termal dan cocok digunakan sebagai material pembantu dalam proses peleburan dengan suhu tinggi. Pengambilan data kadar air dapat dilihat pada gambar (3.9).



Gambar 3. 9 Pengambilan Data Kadar Air

3.8 Pengolahan Data Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan jenis *Central Composite Design* (CCD), yakni suatu pendekatan statistik yang digunakan untuk merancang, menyempurnakan, dan mengoptimalkan suatu proses di mana beberapa variabel bebas (independen) saling berinteraksi dan memengaruhi satu atau lebih variabel respon (Montgomery, 2020). Pada penelitian ini RSM CCD dapat digunakan pada proses optimasi, serta menemukan kombinasi terbaik yang menghasilkan nilai respon optimal.

3.9 Analisis Data Hasil Uji Coba

Selanjutnya tahap analisis data hasil uji coba, yaitu penulis menganalisis data yang sudah diambil dan menggunakan metode RSM. *Significance* interaksi dan istilah kuadrat parameter jelas diprediksi dalam RSM. Teknik RSM dapat memodelkan respons dalam hal parameter *significance*, interaksinya dan istilah kuadrat. Dengan demikian, metode ini dapat memprediksi pengaruh parameter terhadap respon dan merupakan alat yang lebih baik untuk optimasi dibandingkan dengan teknik *taguchi*.

3.10 Kesimpulan

Dari kesimpulan yang diperoleh, dapat diketahui parameter mana yang paling efektif untuk mengoptimalkan briket batu bara serta menentukan nilai maksimum dari kekerasan briket batu bara.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Seperti yang dijelaskan pada BAB III sebelumnya, data dari penelitian ini adalah hasil proses dari pembuatan briket batu bara yang menghasilkan 29 sampel briket batu bara yang dibuat dengan variasi komposisi perekat molase dan tepung tapioka, serta pengaturan parameter proses seperti suhu, tekanan dan waktu pemanasan. Setelah melalui proses pembuatan briket batu bara dilakukan penimbangan untuk mendapatkan data hasil kadar air terhadap 29 sampel briket. Pengujian kadar air dilakukan dengan mengambil berat masa sebelum dipanaskan dan sesudah, sehingga dapat menentukan nilai kadar air yang optimal. Pengujian tekan dengan menggunakan mesin *Zwick Roell Z020* akan mendapatkan hasil yang sangat akurat, sehingga semua respon dari hasil dapat dilakukan analisis dengan metode RSM (*Respon Surface Methode*) untuk menentukan pengaruh dari variabel proses dan nilai optimal.

4.2 Data Nilai Perbandingan Volume Cetakan dan Volume Briket

Data pada nilai volume briket yang dimana dapat dilakukan dengan menggunakan rumus dengan persamaan di bawah ini.

$$V = \frac{m}{p} \dots\dots\dots (4.1)$$

Keterangan:

- V = Volume briket
- m = Massa akhir briket (g)
- p = Densitas (g/cm³)

Sehingga dari persamaan rumus diatas nanti akan dilakukan hasil nilai data perbandingan volume cetakan dan briket dengan persamaan rumus dibawah ini.

$$\text{Perbandingan} = \frac{\text{Volume Briket}}{\text{Volume Cetakan}} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\text{Sampel 1 : } V = \frac{m}{p}$$

$$V = \frac{22}{0,271}$$

$$= 81,181 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,181 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^2}$$

$$= 0,9985$$

$$\text{Sampel 2 : } V = \frac{m}{p}$$

$$V = \frac{21}{0,258}$$

$$= 81,395 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,395 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0012$$

$$\text{Sampel 3 : } V = \frac{m}{p}$$

$$V = \frac{19}{0,234}$$

$$= 81,197 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,197 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9987$$

$$\text{Sampel 4 : } V = \frac{m}{p}$$

$$V = \frac{22}{0,271}$$

$$= 81,181 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,181 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9985$$

Sampel 5 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{21}{0,258}$$

$$= 81,395 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,395 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0012$$

Sampel 6 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{23}{0,283}$$

$$= 81,272 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,272 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9997$$

Sampel 7 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{21}{0,258}$$

$$= 81,395 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,395 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0012$$

Sampel 8 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{22}{0,271}$$

$$= 81,180 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,180 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9985$$

Sampel 9 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{20}{0,246}$$

$$= 81,300 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,300 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,000$$

Sampel 10 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{21}{0,258}$$

$$= 81,395 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,395 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0012$$

Sampel 11 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{21}{0,258}$$

$$= 81,395 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,395 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0012$$

Sampel 12 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{20}{0,246}$$

$$= 81,300 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,300 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,000$$

Sampel 13 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{20}{0,246}$$

$$= 81,300 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,300 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,000$$

Sampel 14 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{20}{0,246}$$

$$= 81,300 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,300 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,000$$

Sampel 15 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{20}{0,246}$$

$$= 81,300 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,300 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,000$$

Sampel 16 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{19}{0,234}$$

$$= 81,300 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,300 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,000$$

Sampel 17 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{20}{0,246}$$

$$= 81,300 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,300 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,000$$

Sampel 18 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{20}{0,246}$$

$$= 81,300 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,300 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,000$$

Sampel 19 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{22}{0,271}$$

$$= 81,180 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,180 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9985$$

Sampel 20 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{21}{0,258}$$

$$= 81,395 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,395 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0012$$

$$\text{Sampel 21 : } V = \frac{m}{p}$$

$$V = \frac{24}{0,295}$$

$$= 81,356 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,356 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0007$$

$$\text{Sampel 22 : } V = \frac{m}{p}$$

$$V = \frac{21}{0,258}$$

$$= 81,395 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,395 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0012$$

$$\text{Sampel 23 : } V = \frac{m}{p}$$

$$V = \frac{21}{0,258}$$

$$= 81,395 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,395 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0012$$

$$\text{Sampel 24 : } V = \frac{m}{p}$$

$$V = \frac{21}{0,258}$$

$$= 81,395 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,395 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,0012$$

Sampel 25 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{22}{0,271}$$

$$= 81,180 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,180 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9985$$

Sampel 26 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{22}{0,271}$$

$$= 81,180 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,180 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9985$$

Sampel 27 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{22}{0,271}$$

$$= 81,180 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,180 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9985$$

Sampel 28 : $V = \frac{m}{p}$

$$V = \frac{22}{0,271}$$

$$= 81,180 \text{ cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,180 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9985$$

$$\text{Sampel 29 : } V = \frac{m}{p}$$

$$V = \frac{22}{0,271}$$

$$= 81,180\text{cm}^3$$

Sehingga,

$$\text{Perbandingan} = \frac{81,180 \text{ cm}^3}{81,3 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,9985$$

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Volume Briket dan Perbandingan

No	Massa Akhir (g)	Densitas (g/cm ³)	Volume Briket (cm ³)	Volume Cetakan (cm ³)	Perbandingan
1	22	0,271	81,181	81,3	0,9985
2	21	0,258	81,395	81,3	1,0012
3	19	0,234	81,197	81,3	0,9987
4	22	0,271	81,181	81,3	0,9985
5	21	0,258	81,395	81,3	1,0012
6	23	0,283	81,272	81,3	0,9997
7	21	0,258	81,395	81,3	1,0012
8	22	0,271	81,181	81,3	0,9985
9	20	0,246	81,301	81,3	1
10	21	0,258	81,395	81,3	1,0012
11	21	0,258	81,395	81,3	1,0012
12	20	0,246	81,301	81,3	1
13	20	0,246	81,301	81,3	1
14	20	0,246	81,301	81,3	1
15	20	0,246	81,301	81,3	1
16	19	0,234	81,197	81,3	0,9987
17	20	0,246	81,301	81,3	1
18	20	0,246	81,301	81,3	1
19	22	0,271	81,181	81,3	0,9985
20	21	0,258	81,395	81,3	1,0012
21	24	0,295	81,356	81,3	1,0007
22	21	0,258	81,395	81,3	1,0012
23	21	0,258	81,395	81,3	1,0012
24	21	0,258	81,395	81,3	1,0012
25	22	0,271	81,181	81,3	0,9985
26	22	0,271	81,181	81,3	0,9985
27	22	0,271	81,181	81,3	0,9985
28	22	0,271	81,181	81,3	0,9985
29	22	0,271	81,181	81,3	0,9985

4.3 Data Nilai Kadar Air

Pembahasan pertama pada BAB IV ini dimulai dari hasil kadar air. Data diperoleh melalui variasi komposisi campuran yang digunakan dalam penelitian, di mana setiap parameter proses dijadikan sebagai faktor yang diduga berpengaruh terhadap nilai kadar air. Hasil percobaan yang telah dilakukan disajikan pada tabel (4.2).

Tabel 4. 2 Data Hasil Percobaan

No. Sampel	Variabel				Respons	
	Binder (%)	Suhu (°C)	Tekanan (MPa)	Waktu (Menit)	Massa Awal (Gram)	Massa Akhir (Gram)
1	10.0	70.0	8.0	60.0	23	22
2	10.0	70.0	8.0	120.0	22	21
3	10.0	70.0	12.0	60.0	20	19
4	10.0	70.0	12.0	120.0	23	22
5	10.0	110.0	8.0	60.0	25	21
6	10.0	110.0	8.0	120.0	24	23
7	10.0	110.0	12.0	60.0	23	21
8	10.0	110.0	12.0	120.0	25	22
9	15.0	70.0	8.0	60.0	21	20
10	15.0	70.0	8.0	120.0	22	21
11	15.0	70.0	12.0	60.0	22	21
12	15.0	70.0	12.0	120.0	21	20
13	15.0	110.0	8.0	60.0	22	20
14	15.0	110.0	8.0	120.0	22	20
15	15.0	110.0	12.0	60.0	21	20
16	15.0	110.0	12.0	120.0	21	19
17	10.0	90.0	10.0	90.0	22	20
18	15.0	90.0	10.0	90.0	22	20
19	12.5	70.0	10.0	90.0	23	22
20	12.5	110.0	10.0	90.0	23	21
21	12.5	90.0	8.0	90.0	25	24
22	12.5	90.0	12.0	90.0	22	21
23	12.5	90.0	10.0	60.0	23	21
24	12.5	90.0	10.0	120.0	23	21
25	12.5	90.0	10.0	90.0	23	22
26	12.5	90.0	10.0	90.0	23	22
27	12.5	90.0	10.0	90.0	23	22
28	12.5	90.0	10.0	90.0	23	22
29	12.5	90.0	10.0	90.0	23	22

4.2.1 Perhitungan Data Kadar Air

Hasil uji kadar air yang dimana semakin tinggi kadar air, semakin rendah efisiensi pembakaran. Perhitungan kadar air dinyatakan dalam bentuk persentase (%) seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (3.2), sehingga hasil perhitungan dapat dilihat dibawah ini :

Sampel 1 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 22}{23} \times 100 = 4,347\%\end{aligned}$$

Sampel 2 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{22 - 21}{22} \times 100 = 4,545\%\end{aligned}$$

Sampel 3 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{20 - 19}{20} \times 100 = 5\%\end{aligned}$$

Sampel 4 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 22}{23} \times 100 = 4,347\%\end{aligned}$$

Sampel 5 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{25 - 21}{25} \times 100 = 16\%\end{aligned}$$

Sampel 6 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{24 - 23}{24} \times 100 = 4,166\%\end{aligned}$$

Sampel 7 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 21}{23} \times 100 = 8,69\%\end{aligned}$$

Sampel 8 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{25 - 22}{25} \times 100 = 12\%\end{aligned}$$

Sampel 9 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{21 - 20}{21} \times 100 = 4,761\%\end{aligned}$$

Sampel 10 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{22 - 21}{22} \times 100 = 4,545\%\end{aligned}$$

Sampel 11 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{22 - 21}{22} \times 100 = 4,545\%\end{aligned}$$

Sampel 12 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{21 - 20}{21} \times 100 = 4,761\%\end{aligned}$$

Sampel 13 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{22 - 20}{22} \times 100 = 9,09\%\end{aligned}$$

Sampel 14 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{22 - 20}{22} \times 100 = 9,09\%\end{aligned}$$

Sampel 15 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{21 - 20}{21} \times 100 = 4,761\%\end{aligned}$$

Sampel 16 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{21 - 19}{21} \times 100 = 9,523\%\end{aligned}$$

Sampel 17 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{22 - 20}{22} \times 100 = 9,09\%\end{aligned}$$

Sampel 18 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{22 - 20}{22} \times 100 = 9,09\%\end{aligned}$$

Sampel 19 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 22}{23} \times 100 = 4,347\%\end{aligned}$$

Sampel 20 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 21}{23} \times 100 = 8,69\%\end{aligned}$$

Sampel 21 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{25 - 24}{25} \times 100 = 4\%\end{aligned}$$

Sampel 22 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{22 - 21}{22} \times 100 = 4,545\%\end{aligned}$$

Sampel 23 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 21}{23} \times 100 = 8,69\%\end{aligned}$$

Sampel 24 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 21}{23} \times 100 = 8,69\%\end{aligned}$$

Sampel 25 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 22}{23} \times 100 = 4,347\%\end{aligned}$$

Sampel 26 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 22}{23} \times 100 = 4,347\%\end{aligned}$$

Sampel 27 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 22}{23} \times 100 = 4,347\%\end{aligned}$$

Sampel 28 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 22}{22} \times 100 = 4,347\%\end{aligned}$$

Sampel 29 :

$$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \\ &= \frac{23 - 22}{23} \times 100 = 4,347\%\end{aligned}$$

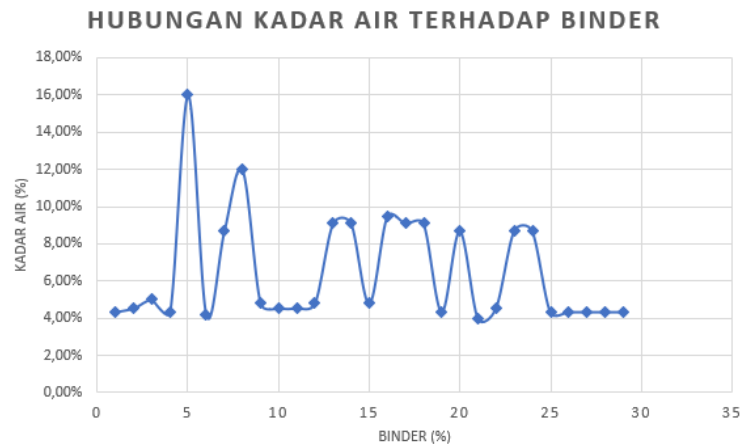
Dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat hasil uji kadar air pada tabel (4.2) dibawah ini:

Tabel 4. 3 Data Hasil Selisih antara Massa Awal dan Massa Akhir Sampel

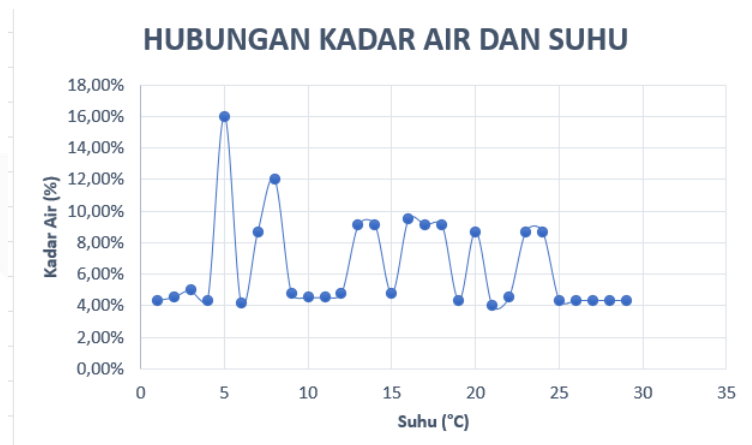
No. Sampel	Massa Awal (Gram)	Massa Akhir (Gram)	Selisih (Gram)	Kadar Air (%)
1	23	22	1	4,35 %
2	22	21	1	4,55 %
3	20	19	1	5 %
4	23	22	1	4,35 %
5	25	21	4	16 %

No. Sampel	Massa Awal (Gram)	Massa Akhir (Gram)	Selisih (Gram)	Kadar Air (%)
6	24	23	1	4,2 %
7	23	21	2	8,7 %
8	25	22	3	12 %
9	21	20	1	4,8 %
10	22	21	1	4,55 %
11	22	21	1	4,55 %
12	21	20	1	4,8 %
13	22	20	2	9,1 %
14	22	20	2	9,1 %
15	21	20	1	4,8%
16	21	19	2	9,5 %
17	22	20	2	9,1 %
18	22	20	2	9,1 %
19	23	22	1	4,35 %
20	23	21	2	8,7 %
21	25	24	1	4 %
22	22	21	1	4,55 %
23	23	21	2	8,7 %
24	23	21	2	8,7 %
25	23	22	1	4,35 %
26	23	22	1	4,35 %
27	23	22	1	4,35 %
28	23	22	1	4,35 %
29	23	22	1	4,35 %

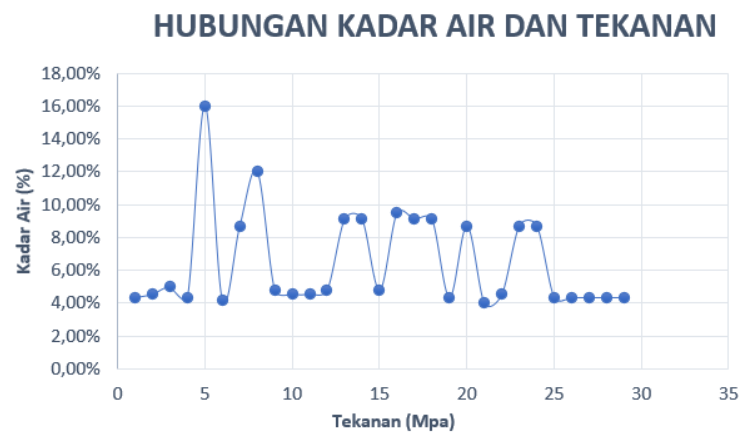
Berdasarkan hasil pengujian kadar air yang tercantum pada tabel 4.2, dapat diketahui bahwa nilai kadar air tertinggi dan terendah terdapat pada sampel yang berbeda. Nilai kadar air tertinggi diperoleh pada sampel uji nomor 5, yaitu sebesar 16%, sedangkan nilai terendah ditemukan pada sampel uji nomor 21 dengan kadar air sebesar 4%. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk melihat hubungan antara kadar air dan parameter yang ditetapkan, yang divisualisasikan pada gambar 4.1 hingga Gambar 4.4.



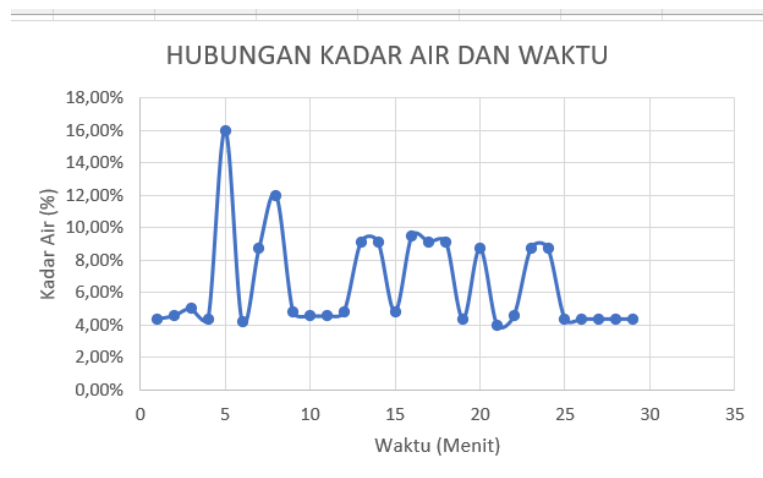
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Binder



Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Suhu



Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Tekanan



Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Waktu

4.2.2 Data Nilai Uji Tekan

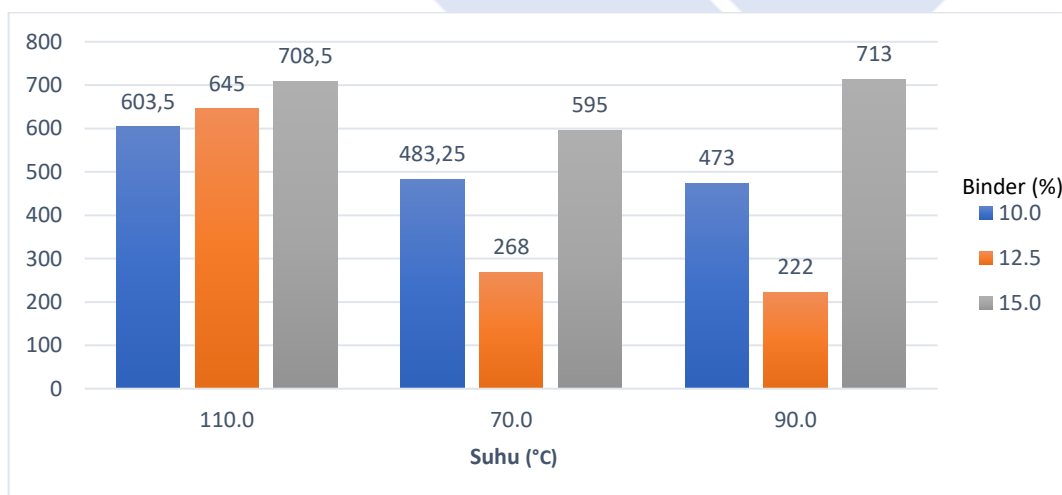
Pembahasan selanjutnya dalam BAB IV ini berfokus pada hasil pengujian uji tekan. Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan komposisi campuran, di mana setiap parameter proses dianggap sebagai faktor yang diperkirakan berpengaruh terhadap nilai uji tekan. Setelah itu, pengujian dilakukan menggunakan alat *Zwick Roell Z020* pada masing-masing sampel. Seluruh data hasil pengujian kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak excel sebagai alat bantu analisis. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 4 Data Hasil Uji Tekan

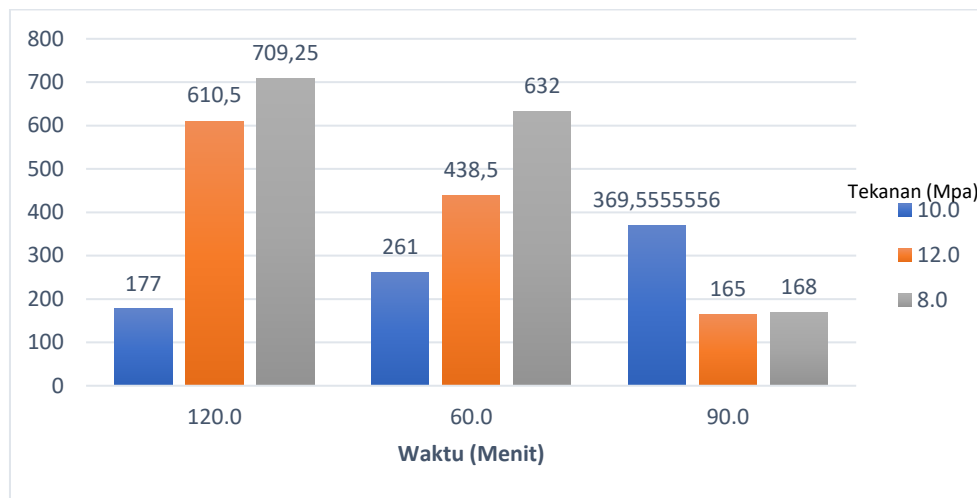
No	Variabel				Respons
	Binder (%)	Suhu (°C)	Tekanan (MPa)	Waktu (Menit)	Hasil Uji (Kpa)
1	10.0	70.0	8.0	60.0	484
2	10.0	70.0	8.0	120.0	808
3	10.0	70.0	12.0	60.0	308
4	10.0	70.0	12.0	120.0	333
5	10.0	110.0	8.0	60.0	705
6	10.0	110.0	8.0	120.0	649
7	10.0	110.0	12.0	60.0	269
8	10.0	110.0	12.0	120.0	791
9	15.0	70.0	8.0	60.0	624
10	15.0	70.0	8.0	120.0	734
11	15.0	70.0	12.0	60.0	463
12	15.0	70.0	12.0	120.0	559

No	Variabel				Respons
	Binder (%)	Suhu (°C)	Tekanan (MPa)	Waktu (Menit)	Hasil Uji (Kpa)
13	15.0	110.0	8.0	60.0	715
14	15.0	110.0	8.0	120.0	646
15	15.0	110.0	12.0	60.0	714
16	15.0	110.0	12.0	120.0	759
17	10.0	90.0	10.0	90.0	473
18	15.0	90.0	10.0	90.0	713
19	12.5	70.0	10.0	90.0	268
20	12.5	110.0	10.0	90.0	645
21	12.5	90.0	8.0	90.0	168
22	12.5	90.0	12.0	90.0	165
23	12.5	90.0	10.0	60.0	261
24	12.5	90.0	10.0	120.0	177
25	12.5	90.0	10.0	90.0	124
26	12.5	90.0	10.0	90.0	176
27	12.5	90.0	10.0	90.0	373
28	12.5	90.0	10.0	90.0	178
29	12.5	90.0	10.0	90.0	376

Setelah hasil uji tekan didapatkan, maka dilakukan pembuatan diagram menggunakan *software excel*. Diagram hasil uji tekan dapat dilihat pada gambar (4.5) dan (4.6).



Gambar 4. 5 Diagram Hasil Uji Tekan



Gambar 4. 6 Diagram Hasil Uji Tekan

Pengujian kekuatan tekan dilakukan pada 29 sampel briket batu bara menggunakan mesin uji tekan *Zwick Roell Z020*. Setiap sampel diuji berdasarkan variasi parameter proses yang terdiri dari *presentase* binder, suhu pengeringan, tekanan pengepresan, dan waktu pemanasan. Data hasil uji tekan ditampilkan dalam tabel (4.3). Nilai kekuatan tekan yang diperoleh bervariasi antara 124 kPa hingga 808 kPa, tergantung kombinasi variabel proses. Sampel dengan hasil tekan tertinggi sebesar 808 kPa diperoleh pada kombinasi parameter:

- Binder: 10%
- Suhu: 70 °C
- Tekanan: 8 Mpa
- Waktu: 120 menit

Sementara itu, nilai terendah yaitu 124 kPa didapat pada sampel dengan kombinasi:

- Binder: 12,5 %
- Suhu: 90 °C
- Tekanan: 10 Mpa
- Waktu: 90 menit

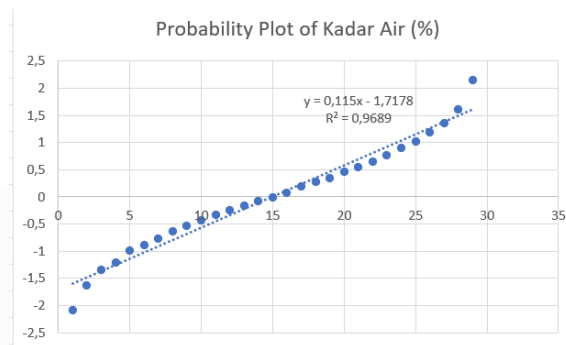
Berdasarkan data dan grafik yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa parameter binder 10%, suhu 70°C, tekanan 8 Mpa, dan waktu pemanasan 120 menit memberikan pengaruh paling positif terhadap kekuatan tekan briket batu bara.

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Uji Normalitas

a. Kadar Air

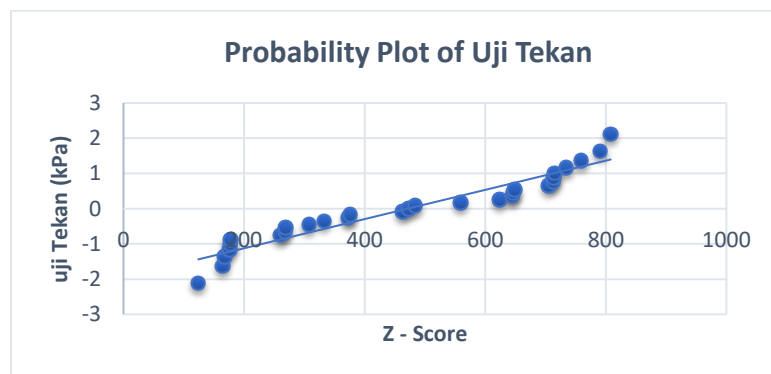
Nilai respon kadar air selanjutnya diuji kenormalan datanya. Uji normalitas dapat digunakan dengan bantuan *software excel*, hasil dari uji normalitas ditampilkan pada gambar 4.7 di bawah ini. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilakukan analisis, data menunjukkan data sangat mendekati distribusi normal. Dengan demikian data respon kadar air dapat disimpulkan mengikuti bentuk distribusi normal.



Gambar 4. 7 Grafik *Probability Plot of Kadar Air*

b. Uji Tekan

Nilai respon dari uji tekan selanjutnya dianalisis untuk menguji kenormalan datanya. Proses uji normalitas ini dilakukan dengan bantuan *software excel*. Hasil pengujian disajikan pada gambar 4.8 di bawah ini. Berdasarkan gambar tersebut, data menunjukkan tingkat kenormalan yang signifikan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa data respon uji tekan mengikuti distribusi normal.



Gambar 4. 8 Grafik *Probability Plot of Uji Tekan*

4.3.2 Sampel Analisis Varian (Anova)

Analisis Varian (Anova) digunakan untuk menganalisis model permukaan respon kadar air dan uji tekan, hasil analisis varian ditunjukkan untuk melihat variabel yang berpengaruh atau signifikan terhadap respon.

Nilai P – value yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar statistik uji untuk dapat menyimpulkan hipotesis (H_0) ditolak atau gagal ditolak.

a. Kadar Air

Hasil analisis varian kadar air dapat dilihat pada tabel (4.4), (4.5), dan (4.7)

Tabel 4. 5 Analisis Varian (Anova) Kadar Air

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F - Value	F – Tabel ($\alpha = 0.05$)	Significance F
Regression	4	93.105	23.276	3.510	2.82	0.022342
Residual	23	152.512	6.631	—	—	—
Total	27	245.617	—	—	—	—

Tabel 4. 6 Koefesien Regresi

Source	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	0,888824	6,201959	0,143313	0,887291
10	-0,19825	0,251689	-0,78769	0,43892
70	0,110635	0,031461	3,516567	0,001852
8	-0,09365	0,314611	-0,29767	0,768628
60	-0,00967	0,020974	-0,46101	0,649121

Tabel 4. 7 Koefesien Interaksi

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	3,257378	2,80589	1,160907	0,258122
Binder * Suhu	0,006995	0,006178	1,132303	0,269698
Binder * Tekanan	-0,095	0,054712	-1,73632	0,096493
Binder * Waktu	0,001522	0,006002	0,253563	0,802188
Suhu * Tekanan	0,008399	0,007722	1,087621	0,288535
Suhu * Waktu	-0,00073	0,00081	-0,89638	0,379753
Tekanan * Waktu	0,004318	0,007502	0,575624	0,570711

Tabel 4. 8 Nilai Koefesien Deteriminasi

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,615683
R Square	0,379066
Adjusted R Square	0,271077
Standard Error	2,575063
Observations	28

Keterangan :

- H_0 = Tidak ada pengaruh yang signifikan dari semua variabel independen
- H_1 = Setidaknya ada satu variabel independen yang berpengaruh signifikan
- Keputusan Statistik Uji

Apabila nilai $F - value < F - Tabel$ maka nilai tidak dapat dikatakan signifikan

Apabila nilai $F - value > F - Tabel$ maka nilai dapat dikatakan signifikan

- Kriteria Pengujian

Keputusan H_0 tidak diterima jika $P - value > F - Tabel$ (Signifikan)

Keputusan H_0 diterima jika $P - value < F - Tabel$ (Tidak signifikan)

Berdasarkan tabel (4.4), (4.5), dan (4.6) uji analisis varian yang dilakukan bahwa nilai $F - Hitung > F - Tabel$ dan $Significance F < 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa keputusan H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini berarti bahwa model regresi secara keseluruhan berpengaruh signifikan terhadap kadar air. Artinya variabel suhu, tekanan, waktu pemanasan, binder secara individu maupun kolektif memiliki kontribusi nyata terhadap variasi kadar air

b. Uji Tekan

Hasil analisis varian uji tekan dapat dilihat pada tabel (4.8), (4.9), (4.10), dan (4.11)

Tabel 4. 9 Analisis Varian (Anova) Uji Tekan

Source	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	286330,3	71582,58	1,43987	0,251469
Residual	24	1193151	49714,61		
Total	28	1479481			

Tabel 4. 10 Koefesien Regresi

Source	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	8,854406	469,6772	0,018852	0,985115
Binder (%)	24,6	21,0216	1,170225	0,2534
Suhu (°C)	3,644444	2,6277	1,386933	0,17821
Tekanan (MPa)	-32,5556	26,277	-1,23894	0,227349
Waktu (Menit)	1,690741	1,7518	0,965145	0,344097

Tabel 4. 11 Koefesien Interaksi

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	224,777	250,3292	0,897925	0,378948
Binder * Suhu	0,373086	0,551156	0,676916	0,505515
Binder * Tekanan	-0,44146	4,881141	-0,09044	0,928755
Binder * Waktu	-0,0681	0,535434	-0,12718	0,899951
Suhu * Tekanan	-0,28799	0,688945	-0,41801	0,679992
Suhu * Waktu	0,020623	0,072277	0,285329	0,778061
Tekanan * Waktu	0,056002	0,669292	0,083674	0,934072

Tabel 4. 12 Nilai Koefesien Deteriminasi

R Square	Adjusted R Square	Standard Error
0,193534	0,059123	222,9677

Berdasarkan hasil analisis regresi linier berganda, diperoleh nilai F sebesar 1,44 dengan *Significance F* sebesar $0,251 > 0,05$ yang mengindikasikan bahwa model secara keseluruhan tidak signifikan. Selain itu, nilai R^2 sebesar 19,35% menunjukkan bahwa model hanya mampu menjelaskan sebagian kecil variasi dalam data.

Jika dilihat dari nilai p masing-masing variabel, diketahui bahwa faktor suhu berpengaruh signifikan terhadap hasil uji tekan ($p < 0,05$), sedangkan variabel lain seperti jenis binder, tekanan, dan waktu tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik.

4.3.3 Persamaan *Second Order*

Langkah berikutnya adalah membentuk persamaan orde dua (*second order*). Persamaan ini disusun dengan pendekatan regresi, dan perhitungan untuk setiap respon dilakukan menggunakan Persamaan (2.5) berikut.

a. Kadar Air

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_{11} \\ \beta_{22} \\ \beta_{33} \\ \beta_{12} \\ \beta_{13} \\ \beta_{23} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T y$$

Mengacu pada persamaan di atas, maka untuk memperoleh persamaan orde dua (*second order*) dapat dilakukan melalui perhitungan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

[illegible]

Matrik x^T

[illegible]

Matrik ($X^T X$)

$$X^T \cdot X = (15 \times 29) \times (29 \times 15) \\ = 15 \times 15$$

Keterangan:

29 = Run

15 = Variabel

29	0	0	0	0	18	18	18	18	0	0	0	4	2	0
0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0
0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0
0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	2	0
0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	0
18	0	0	0	0	18	16	16	16	0	0	0	4	2	0
18	0	0	0	0	16	18	16	16	0	0	0	4	2	0
18	0	0	0	0	16	16	18	16	0	0	0	4	2	0
18	0	0	0	0	16	16	16	18	0	0	0	4	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	4	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	-4	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	-6	0
4	4	4	-4	0	4	4	4	4	4	-4	0	16	2	0
2	2	2	2	-6	2	2	2	2	2	2	-6	2	16	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	16

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

0,106966	-0,00097	-0,00097	0,000627	0,000515	-0,02944	-0,02944	-0,02944	-0,02944
-0,00097	0,061108	0,005552	-0,00359	-0,00295	0,001779	0,001779	0,001779	0,001779
-0,00097	0,005552	0,061108	-0,00359	-0,00295	0,001779	0,001779	0,001779	0,001779
0,000627	-0,00359	-0,00359	0,062125	-0,00447	-0,00115	-0,00115	-0,00115	-0,00115
0,000515	-0,00295	-0,00295	-0,00447	0,066691	-0,00094	-0,00094	-0,00094	-0,00094
-0,02944	0,001779	0,001779	-0,00115	-0,00094	0,387301	-0,1127	-0,1127	-0,1127
-0,02944	0,001779	0,001779	-0,00115	-0,00094	-0,1127	0,387301	-0,1127	-0,1127
-0,02944	0,001779	0,001779	-0,00115	-0,00094	-0,1127	-0,1127	0,387301	-0,1127
-0,02944	0,001779	0,001779	-0,00115	-0,00094	-0,1127	-0,1127	-0,1127	0,387301
-0,00109	0,006246	0,006246	-0,00403	-0,00332	0,002001	0,002001	0,002001	0,002001
0,000705	-0,00403	-0,00403	0,007391	-0,00503	-0,00129	-0,00129	-0,00129	-0,00129
0,00058	-0,00332	-0,00332	-0,00503	0,012527	-0,00106	-0,00106	-0,00106	-0,00106
0,003593	-0,02056	-0,02056	0,022851	-0,00343	-0,00659	-0,00659	-0,00659	-0,00659
0,001546	-0,00885	-0,00885	-0,01342	-0,033407	-0,00283	-0,00283	-0,00283	-0,00283
-0,00019	0,001106	0,001106	0,001106	-0,00418	0,000354	0,000354	0,000354	0,000354

-0,00109	0,000705	0,00058	0,003593	0,001546	-0,00019
0,006246	-0,00403	-0,00332	-0,02056	-0,00885	0,001106
0,006246	-0,00403	-0,00332	-0,02056	-0,00885	0,001106
-0,00403	0,007391	-0,00503	0,022851	-0,01342	0,001678
-0,00332	-0,00503	0,012527	-0,00343	0,033407	-0,00418
0,002001	-0,00129	-0,00106	-0,00659	-0,00283	0,000354
	-0,00129	-0,00106	-0,00659		
0,002001				-0,00283	0,000354
0,002001	-0,00129	-0,00106	-0,00659	-0,00283	0,000354
0,002001	-0,00129	-0,00106	-0,00659		
				-0,00283	0,000354
0,069527	-0,00454	-0,00373	-0,02313	-0,00995	0,001244
-0,00454	0,070815	-0,00566	0,025708		
				-0,0151	0,001888
-0,00373	-0,00566	0,076593	-0,00386	0,037582	-0,0047
-0,02313	0,025708	-0,00386	0,097681		
				-0,0103	0,001287
-0,00995	-0,0151	0,037582	-0,0103	0,10022	-0,01253
0,001244	0,001888	-0,0047	0,001287	-0,01253	0,064066

Matrik $X^T y$

189,3
0,1
1,4
37
-7,95
128,55
123,4
118,9
127,75
19,45
-3,35
13,65
14,45
18,25
-8,85

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

5,655077
0,229279
0,301501
1,772954
-0,35335
2,357358
-0,21764
-2,46764
1,957358
1,467314
-0,5273
0,952482
-1,13923
0,264952
-0,58624

Dilihat dari nilai β yang telah diperoleh sebelumnya, maka dapat disusun persamaan *second order* (kuadratik) untuk memodelkan kadar air briket. Model ini memuat pengaruh utama, kuadrat, dan interaksi dari empat variabel yaitu X_1 = persentase binder, X_2 = suhu pengeringan, X_3 = tekanan pencetakan, dan X_4 = waktu pemanasan menggunakan perhitungan persamaan (2.5) sebagai berikut:

$$Y = 5,655077 + 0,229279X_1 + 0,301501x_2 + 1,772954X_3 - 0,35335x_4 + 2,357358X_1^2 - 0,21764X_2^2 - 2,46764X_3^2 + 1,957358X_4^2 + 1,467314X_1X_2 - 0,5273X_1X_3 + 0,952482X_1X_4 - 1,13923X_2X_3 + 0,264952X_2X_4 - 0,58624X_3X_4$$

Keterangan:

- γ = Prediksi kadar air (%) pada briket
- x_1 = Nilai *coded* persen binder
- x_2 = Nilai *coded* suhu pengeringan
- x_3 = Nilai *coded* tekanan pencetakan
- x_4 = Nilai *coded* waktu pemanasan
- $X_1^2X_2^2X_3^2X_4^2$ = Pengaruh kuadrat masing – masing faktor

b. Uji Tekan

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_{11} \\ \beta_{22} \\ \beta_{33} \\ \beta_{12} \\ \beta_{13} \\ \beta_{23} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T y$$

Mengacu pada persamaan yang telah disajikan, perolehan persamaan orde dua (*second order*) dapat dilakukan melalui tahapan perhitungan sebagai berikut:

[illegible]

Matrik X^T

[illegible]

Matrik $(X^T X)$

$$\begin{aligned} X^T \cdot X &= (15 \times 29) \times (29 \times 15) \\ &= 15 \times 15 \end{aligned}$$

Keterangan:

29 = Run

15 = Variabel

$$\begin{bmatrix} 29 & 0 & 0 & 0 & 0 & 18 & 18 & 18 & 18 & 0 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6 & 0 \\ 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 18 & 16 & 16 & 16 & 0 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16 & 18 & 16 & 16 & 0 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16 & 16 & 18 & 16 & 0 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16 & 16 & 16 & 18 & 0 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16 & 0 & -4 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16 & 0 & -6 & 0 \\ 4 & 4 & 4 & -4 & 0 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & -4 & 0 & 16 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & -6 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & -6 & 2 & 16 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 16 \end{bmatrix}$$

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

$$\begin{bmatrix} 0,106966 & -0,00097 & -0,00097 & 0,000627 & 0,000515 & -0,02944 & -0,02944 & -0,02944 & -0,02944 \\ -0,00097 & 0,061108 & 0,005552 & -0,00359 & -0,00295 & 0,001779 & 0,001779 & 0,001779 & 0,001779 \\ -0,00097 & 0,005552 & 0,061108 & -0,00359 & -0,00295 & 0,001779 & 0,001779 & 0,001779 & 0,001779 \\ 0,000627 & -0,00359 & -0,00359 & 0,062125 & -0,00447 & -0,00115 & -0,00115 & -0,00115 & -0,00115 \\ 0,000515 & -0,00295 & -0,00295 & -0,00447 & 0,066691 & -0,00094 & -0,00094 & -0,00094 & -0,00094 \\ -0,02944 & 0,001779 & 0,001779 & -0,00115 & -0,00094 & 0,387301 & -0,1127 & -0,1127 & -0,1127 \\ -0,02944 & 0,001779 & 0,001779 & -0,00115 & -0,00094 & -0,1127 & 0,387301 & -0,1127 & -0,1127 \\ -0,02944 & 0,001779 & 0,001779 & -0,00115 & -0,00094 & -0,1127 & -0,1127 & 0,387301 & -0,1127 \\ -0,02944 & 0,001779 & 0,001779 & -0,00115 & -0,00094 & -0,1127 & -0,1127 & -0,1127 & 0,387301 \\ -0,00109 & 0,006246 & 0,006246 & -0,00403 & -0,00332 & 0,002001 & 0,002001 & 0,002001 & 0,002001 \\ 0,000705 & -0,00403 & -0,00403 & 0,007391 & -0,00503 & -0,00129 & -0,00129 & -0,00129 & -0,00129 \\ 0,00058 & -0,00332 & -0,00332 & -0,00503 & 0,012527 & -0,00106 & -0,00106 & -0,00106 & -0,00106 \\ 0,003593 & -0,02056 & -0,02056 & 0,022851 & -0,00343 & -0,00659 & -0,00659 & -0,00659 & -0,00659 \\ 0,001546 & -0,00885 & -0,00885 & -0,01342 & -0,033407 & -0,00283 & -0,00283 & -0,00283 & -0,00283 \\ -0,00019 & 0,001106 & 0,001106 & 0,001106 & -0,00418 & 0,000354 & 0,000354 & 0,000354 & 0,000354 \\ -0,00109 & 0,000705 & 0,00058 & 0,003593 & 0,001546 & -0,00019 & & & \\ 0,006246 & -0,00403 & -0,00332 & -0,02056 & -0,00885 & 0,001106 & & & \\ 0,006246 & -0,00403 & -0,00332 & -0,02056 & -0,00885 & 0,001106 & & & \\ -0,00403 & 0,007391 & -0,00503 & 0,022851 & -0,01342 & 0,001678 & & & \\ -0,00332 & -0,00503 & 0,012527 & -0,00343 & 0,033407 & -0,00418 & & & \\ 0,002001 & -0,00129 & -0,00106 & -0,00659 & -0,00283 & 0,000354 & & & \\ & -0,00129 & -0,00106 & -0,00659 & -0,00283 & 0,000354 & & & \\ 0,002001 & -0,00129 & -0,00106 & -0,00659 & -0,00283 & 0,000354 & & & \\ 0,002001 & -0,00129 & -0,00106 & -0,00659 & -0,00283 & 0,000354 & & & \\ 0,069527 & -0,00454 & -0,00373 & -0,02313 & -0,00995 & 0,001244 & & & \\ -0,00454 & 0,070815 & -0,00566 & 0,025708 & -0,0151 & 0,001888 & & & \\ -0,00373 & -0,00566 & 0,076593 & -0,00386 & 0,037582 & -0,0047 & & & \\ -0,02313 & 0,025708 & -0,00386 & 0,097681 & -0,0103 & 0,001287 & & & \\ -0,00995 & -0,0151 & 0,037582 & -0,0103 & 0,10022 & -0,01253 & & & \\ -0,001244 & 0,001888 & -0,0047 & 0,001287 & -0,01253 & 0,064066 & & & \end{bmatrix}$$

Matrik $X^T y$

$$\begin{bmatrix} 13658 \\ 1721 \\ -792 \\ 932 \\ 783 \\ 10747 \\ 10474 \\ 9894 \\ 9999 \\ 379 \\ -113 \\ -633 \\ 2589 \\ 1851 \\ -27 \end{bmatrix}$$

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

$$\begin{bmatrix} 262,0569 \\ 90,28578 \\ -49,3253 \\ 47,4733 \\ 57,94471 \\ 317,0624 \\ 180,5624 \\ -109,438 \\ -56,9376 \\ 17,69651 \\ -11,905 \\ -23,3122 \\ 2,296909 \\ 43,33414 \\ -7,10427 \end{bmatrix}$$

Dilihat dari nilai β yang telah diperoleh sebelumnya, maka dapat disusun persamaan *second order* (kuadratik) untuk memodelkan kadar air briket. Model ini memuat pengaruh utama, kuadrat, dan interaksi dari empat variabel yaitu X_1 = persentase binder, X_2 = suhu pengeringan, X_3 = tekanan pencetakan, dan X_4 = waktu pemanasan menggunakan perhitungan persamaan (2.5) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y = & 262,0569 + 90,28578X_1 - 49,3253x_2 + 47,4733X_3 + 57,94471x_4 + \\ & 317,0624X_1^2 + 180,5624X_2^2 - 109,438X_3^2 - 56,9376X_4^2 + 17,69651X_1X_2 \\ & - 11,905X_1X_3 - 23,3122X_1X_4 + 2,296909X_2X_3 + 43,33414X_2X_4 - 7,10427X_3X_4 \end{aligned}$$

Keterangan:

- γ = Prediksi kadar air (%) pada briket
- x_1 = Nilai *coded* persen binder
- x_2 = Nilai *coded* suhu pengeringan
- x_3 = Nilai *coded* tekanan pencetakan
- x_4 = Nilai *coded* waktu pemanasan
- $X_1^2 X_2^2 X_3^2 X_4^2$ = Pengaruh kuadrat masing – masing faktor

4.3.2 Uji *Lack of Fit* (Ketidaksesuaian Persamaan Regresi)

Uji ketidaksesuaian adalah digunakan untuk menentukan model akurat atau sesuai dengan data, bandingkan nilai p ke tingkat signifikan.

a. Kadar Air

- Hipotesis ketidaksesuaian dengan data.

H_0 : Ketidaksesuaian dengan data

H_1 : Kesesuaian model dengan data

- Keputusan Statistik Uji

Apabila nilai $p - value < 5 \%$, maka model tidak sesuai dengan data.

Apabila nilai $p - value > 5 \%$, maka model sesuai dengan data.

Dari nilai tabel (4.4), (4.5), dan (4.6) analisis varian (Anova) kadar air menunjukkan nilai $F_{hitung} = 3,510 > F_{tabel} = 2,82$, dengan $p - value = 0,022 < 0,05$ yang berarti model regresi signifikan. Selain itu, hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai kadar air pada titik pusat cukup konsisten, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat *lack of fit* yang signifikan pada model kadar air.

b. Uji Tekan

- Hipotesis ketidaksesuaian dengan data

H_0 = Ketidaksesuaian model dengan data

H_1 = Kesesuaian model dengan data

- Keputusan statistik uji

Apabila nilai $p - value < 5 \%$, maka model tidak sesuai dengan data

Apabila nilai $p - value > 5 \%$, maka model sesuai dengan data

Dari nilai tabel (4.7), (4.8), dan (4.9) analisis varian (*Anova*) uji tekan menunjukkan nilai $F_{hitung} = 1,44$ dengan $p - value = 0,251 > 0,05$, serta nilai $R^2 = 0,193$ yang menandakan bahwa model tidak signifikan dan hanya menjelaskan sebagian kecil dari total variasi data. Hal ini mengindikasikan adanya *lack of fit* yang signifikan.

4.4 Model Kuadratik dan Optimasi

Setelah dilakukan pengujian terhadap model linier pertama, diketahui bahwa model regresi untuk respon kadar air menunjukkan kecocokan (*fit*) yang baik, sedangkan untuk respon uji tekan menunjukkan adanya *lack of fit*. Hal ini mengindikasikan bahwa model linier pertama belum mampu secara optimal menjelaskan hubungan antara variabel bebas dan variabel respon, khususnya pada uji tekan.

4.4.1 Analisis Coefficients Determinasi

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai R-square menggunakan Persamaan (2.12). Berikut ini merupakan prosedur perhitungan R-square untuk model persamaan orde dua (*second order*).

a. Kadar Air

$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}}$$

$$R^2 = \frac{93,105}{245,617} = 0,3791$$

$$R^2 = 38 \%$$

Berdasarkan hasil diatas, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,3791 atau setara dengan 38%. Artinya, model regresi orde kedua (*second order*) mampu menjelaskan sebanyak 38% variasi respon kadar air, sedangkan sisanya sebesar 62% dijelaskan oleh faktor lain di luar model atau berasal dari *error* eksperimen.

Nilai R^2 sebesar ini menunjukkan bahwa model memiliki kecocokan sedang, di mana model sudah cukup representatif dalam memodelkan hubungan antara variabel bebas dengan kadar air.

b. Uji Tekan

$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}}$$

$$R^2 = \frac{286330,3}{1479481} = 0,1935$$

$$R^2 = 19,35 \%$$

Berdasarkan hasil diatas, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,1935 atau setara dengan 19,35 %. Artinya, model regresi orde kedua (*second order*) mampu menjelaskan sebanyak 80,65 % dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model, seperti ketidakteraturan sampel, variabel eksperimental yang tidak terkontrol, atau error pengukuran.

Nilai R^2 yang rendah ini mengindikasikan bahwa model regresi linier yang digunakan belum cukup baik dalam menjelaskan hubungan antara variabel bebas dengan respon uji tekan. Selain itu, berdasarkan hasil uji Anova, diketahui bahwa nilai *significance F* = 0,251 > 0,05 serta *F hitung* = 1,440 < *F tabel* = 2,82 yang berarti model tidak signifikan secara statistik.

4.4.2 Menetapkan Nilai Data *Stationary* – *Point*

Berdasarkan persamaan *second order* yang telah diperoleh, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai X_0 , yang diawali dengan menghitung matriks B dan matriks b.

a. Kadar Air

Untuk mencari matrik B dan matrik b persamaan yang digunakan adalah persamaan (2.6) untuk menentukan X_0 sebagai berikut:

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

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2,3574 & 0,7337 & -0,2636 & 0,4762 \\ 0,7337 & -0,2176 & -0,5696 & 0,1325 \\ -0,2636 & -0,5696 & -2,4676 & -0,2931 \\ 0,4762 & 0,1325 & -0,2931 & 1,9574 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,229279 \\ 0,301501 \\ 1,772954 \\ -0,35335 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0,02333406 \\ -0,31765404 \\ 0,75261735 \\ 0,30904242 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = \begin{bmatrix} -0,012 \\ 0,159 \\ -0,376 \\ -0,155 \end{bmatrix}$$

b. Uji Tekan

Untuk mencari matrik B dan matrik b persamaan yang digunakan adalah persamaan (2.6) untuk menentukan X_0 sebagai berikut:

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

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 317,0624 & 8,8483 & -5,9525 & -11,6561 \\ 8,8483 & 180,5624 & 1,1485 & 21,6671 \\ -5,9525 & 1,1485 & 109,438 & -3,5521 \\ -11,6561 & 21,6671 & -3,5521 & -56,9376 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 90,28578 \\ -49,3253 \\ 47,4733 \\ 57,94471 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} -0,2543037 \\ 0,1499591 \\ -0,4117899 \\ 1,1525038 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = \begin{bmatrix} 0,1272 \\ -0,0750 \\ 0,2059 \\ -0,5763 \end{bmatrix}$$

4.4.3 Menetapkan Nilai Titik Optimal dari Faktor X_1 , X_2 , X_3 dan X_4

Setelah nilai X_0 berhasil diperoleh, tahap berikutnya adalah menentukan nilai optimal dari masing-masing faktor atau variabel bebas menggunakan persamaan (2.7). Berikut ini adalah langkah-langkah dalam menentukan titik optimal variabel bebas terhadap kadar air dan uji tekan:

a. Kadar Air

$$X_0 = \begin{bmatrix} -0,012 \\ 0,159 \\ -0,376 \\ -0,155 \end{bmatrix}$$

- Mencari nilai optimal untuk binder (X_1)

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

$$-0,012 = \frac{\text{Binder} - 12,5}{\frac{1}{2}(15 - 10)}$$

$$-0,012 = \frac{\text{Binder} - 12,5}{2,5}$$

$$\text{Binder} = 0,012 (2,5) + 12,5$$

$$\text{Binder} = 12,53\%$$

- Mencari nilai optimal untuk suhu (X_2)

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

$$0,159 = \frac{\text{Suhu} - 90}{\frac{1}{2}(110 - 70)}$$

$$0,159 = \frac{\text{Suhu} - 90}{20}$$

$$\text{Suhu} = -0,159 (20) + 90$$

$$\text{Suhu} = 86,82 ^\circ\text{C}$$

- Mencari nilai optimal untuk tekanan (X_3)

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

$$-0,376 = \frac{\text{Tekanan} - 10}{\frac{1}{2}(12 - 8)}$$

$$-0,376 = \frac{\text{Tekanan} - 10}{2}$$

$$\text{Tekanan} = 0,376 (2) + 10$$

$$\text{Tekanan} = 10,752 \text{ Mpa}$$

- Mencari nilai optimal untuk waktu (X_4)

$$X_4 = \frac{\text{Waktu} - \text{Center Point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$0,155 = \frac{\text{Waktu} - 90}{\frac{1}{2}(120 - 60)}$$

$$0,155 = \frac{\text{Waktu} - 90}{30}$$

$$\text{Waktu} = 0,155 (30) + 90$$

$$\text{Waktu} = 94,65 \text{ Menit}$$

b. Uji Tekan

$$X_0 = \begin{bmatrix} 0,1272 \\ -0,0750 \\ 0,2059 \\ -0,5763 \end{bmatrix}$$

- Mencari nilai optimal untuk binder (X_1)

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

$$0,1272 = \frac{\text{Binder} - 12,5}{\frac{1}{2}(15 - 10)}$$

$$0,1272 = \frac{\text{Binder} - 12,5}{2,5}$$

$$\text{Binder} = -0,1272 (2,5) + 12,5$$

$$\text{Binder} = 12,182\%$$

- Mencari nilai optimal untuk suhu (X_2)

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

$$-0,0750 = \frac{\text{Suhu} - 90}{\frac{1}{2}(110 - 70)}$$

$$-0,0750 = \frac{\text{Suhu} - 90}{20}$$

$$\text{Suhu} = 0,0750 (20) + 90$$

$$\text{Suhu} = 91,5^\circ\text{C}$$

- Mencari nilai optimal untuk tekanan (X_3)

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

$$0,2059 = \frac{\text{Tekanan} - 10}{\frac{1}{2}(12 - 8)}$$

$$0,2059 = \frac{\text{Tekanan} - 10}{2}$$

$$\text{Tekanan} = -0,2059 (2) + 10$$

$$\text{Tekanan} = 9,5882 \text{ Mpa}$$

- Mencari nilai optimal untuk waktu (X_4)

$$X_4 = \frac{\text{Waktu} - \text{Center Point}}{\frac{1}{2}(\text{maksimum} - \text{minimum})}$$

$$-0,5763 = \frac{\text{Waktu} - 90}{\frac{1}{2}(120 - 60)}$$

$$-0,5763 = \frac{\text{Waktu} - 90}{30}$$

$$\text{Waktu} = 0,5763 (30) + 90$$

$$\text{Waktu} = 107,289 \text{ Menit}$$

4.4.4 Menetapkan Nilai Prediksi Respon Pada *Stationary - Point*

Dalam mencari prediksi nilai respon kadar air dan uji tekan dari *stationary-point* dapat menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

- a. Kadar Air

$$\hat{y}_0 = \beta_0 + \frac{1}{2} X_0' b$$

$$\hat{y}_0 = 5,6551 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -0,012 \\ 0,159 \\ -0,376 \\ -0,155 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 0,229279 \\ 0,301501 \\ 1,772954 \\ -0,35335 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y}_0 = 5,6551 + 0,3381063215$$

$$\hat{y}_0 = 5,9932 \%$$

- b. Uji Tekan

$$\hat{y}_0 = \beta_0 + \frac{1}{2} X_0' b$$

$$\hat{y}_0 = 262,0569 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0,1272 \\ -0,0750 \\ 0,2059 \\ -0,5763 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 90,28578 \\ -49,3253 \\ 47,4733 \\ 57,94471 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y}_0 = 262,0569 + 4,2175175935$$

$$\hat{y}_0 = 266,2744 \text{ Kpa}$$

4.4.5 Model *Canonical*

Menentukan model *canonical* dapat dilakukan melalui persamaan *second order*. Kemudian cara menganalisa model *canonical* dapat dilakukan menggunakan persamaan (2.9), maka dari persamaan tersebut didapatlah hasil analisa dari model *canonical* sebagai berikut:

- a. Kadar Air

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 \omega_1^2 + \lambda_2 \omega_2^2 + \lambda_3 \omega_3^2 + \lambda_4 \omega_4^2$$

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + 2,3574 \omega_1^2 + -0,2176 \omega_2^2 + -2,4676 \omega_3^2 + 1,9574 \omega_4^2$$

Dari hasil analisa menggunakan persamaan di atas, maka nilai konstanta dari omega 1, 2, 3, dan 4 yaitu terlampir minus dan plus yang artinya bentuk model *canonical* pada *surface plot* adalah *saddle point*. *Saddle point* artinya adalah persamaan dapat disimpulkan nilai optimal tidak berada pada titik maksimum maupun minimum, melainkan berada pada posisi tertentu, yaitu pada titik X_0 atau titik stasioner (*stationary point*).

b. Uji Tekan

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 \omega_1^2 + \lambda_2 \omega_2^2 + \lambda_3 \omega_3^2 + \lambda_4 \omega_4^2$$

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + 317,0624\omega_1^2 + 180,5624\omega_2^2 + -109,438\omega_3^2 - 56,9376\omega_4^2$$

Dari hasil analisa menggunakan persamaan di atas, maka nilai konstanta dari omega 1, 2, 3, dan 4 yaitu terlampir minus dan plus yang artinya bentuk model *canonical* pada *surface plot* adalah *saddle point*. *Saddle point* artinya adalah dari pada persamaan dapat disimpulkan nilai optimal tidak berada pada kondisi maksimum maupun minimum, melainkan berada pada suatu titik tertentu, yaitu pada titik X_0 yang dikenal sebagai titik stasioner (*stationary point*).

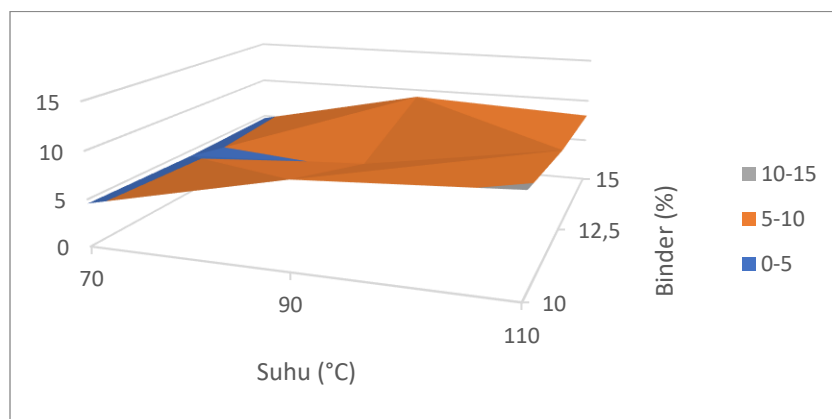
4.4.6 Grafik Permukaan Plot

Grafik permukaan *plot* digunakan untuk memvisualisasikan secara lebih jelas bentuk hubungan antara variabel proses. Melalui grafik ini, posisi titik stasioner dapat diidentifikasi dan dianalisis yang diperkirakan mampu mengoptimalkan variabel respon, yaitu kadar air dan uji tekan. Hubungan interaksi tersebut antara lain, hubungan interaksi antara binder, suhu, tekanan, dan waktu pemanasan. Dari hasil interaksi antara variabel proses tersebut bisa dilihat pada grafik permukaan *plot* berdasarkan gambar di bawah ini, grafik *plot* ini sebelumnya sudah divalidasi menggunakan *excel*.

a. Kadar Air

1. Analisa grafik *surface plot* binder dan suhu

Grafik *surface plot* kadar air antara binder (A) dan suhu (B) berdasarkan gambar (4.9) berikut:

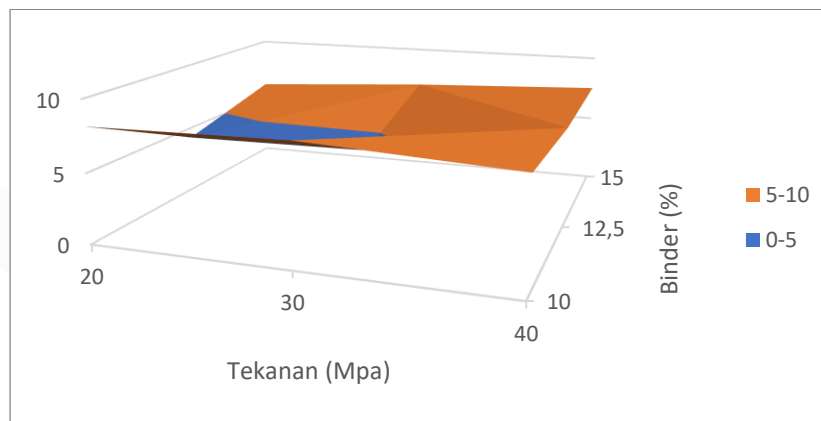


Gambar 4. 9 Grafik *Surface Plot* Kadar Air Antara Binder (A) dan Suhu (B)

Berdasarkan gambar (4.9) yang menunjukkan grafik *surface plot* kadar air terhadap binder (A) dan suhu (B), terlihat bahwa kurva yang terbentuk menunjukkan pola *saddle point*. Dari hasil perhitungan titik stasioner, diperoleh nilai optimal binder sebesar 0,012 dan suhu sebesar -0,159. Jika dikonversikan ke dalam nilai aktual, maka nilai optimal binder adalah 12,53% dan suhu sebesar 86,82 °C.

2. Analisis grafik *surface plot* binder dan tekanan

Grafik *surface plot* kadar air antara binder (A) dan tekanan (C) berdasarkan gambar (4.10) berikut:

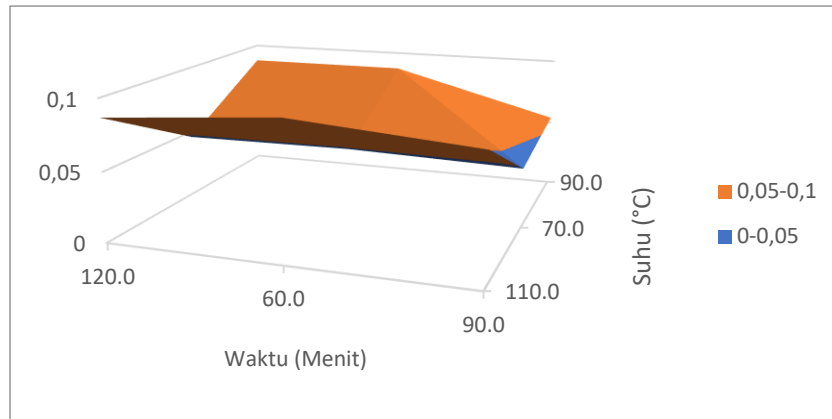


Gambar 4. 10 Grafik *Surface Plot* Kadar Air Antara Binder (A) dan Tekanan (C)

Dari gambar (4.10) grafik *surface plot* kadar air antara binder (A) dan tekanan (C) bahwa kurva adalah posisi *saddle point* dan berdasarkan nilai stasionari *point* dapat ditentukan titik optimal binder adalah 0,012 dan titik optimal tekanan adalah 0,376. Kemudian untuk nilai optimal dari masing – masing variabel yaitu untuk binder adalah 12,53% dan tekanan adalah 10,752 Mpa.

3. Analisis grafik *surface plot* suhu dan waktu

Grafik *surface plot* kadar air antara suhu (B) dan waktu (D) berdasarkan gambar (4.11) berikut:

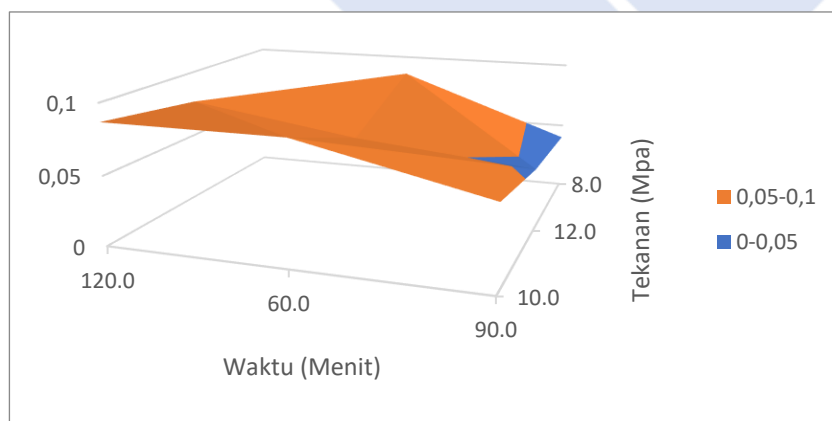


Gambar 4. 11 Grafik *Surface Plot* Kadar Air Antara Suhu (B) dan Waktu (D)

Dari gambar (4.11) grafik *surface plot* kadar air antara suhu (B) dan waktu (D) bahwa kurva adalah posisi *saddle point* dan berdasarkan nilai stasionari *point* dapat ditentukan titik optimal suhu adalah $-0,159$ dan titik optimal waktu adalah $0,155$. Kemudian untuk nilai optimal dari masing – masing variabel yaitu untuk binder adalah $86,82\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan waktu adalah $94,65$ menit.

4. Analisis grafik *surface plot* tekanan dan waktu

Grafik *surface plot* kadar air antara tekanan (C) dan waktu (D) berdasarkan gambar (4.12) berikut:



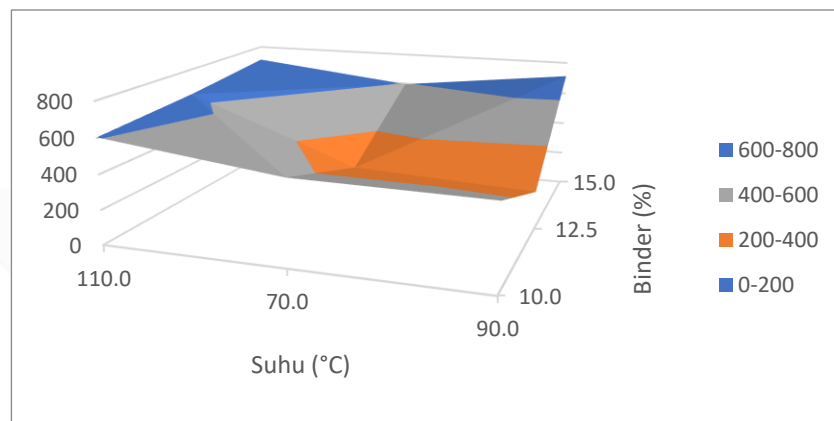
Gambar 4. 12 Grafik *Surface Plot* Kadar Air Antara Tekanan (C) dan Waktu (D)

Dari gambar (4.12) grafik *surface plot* kadar air antara tekanan (C) dan waktu (D) bahwa kurva adalah posisi *saddle point* dan berdasarkan nilai stasionari *point* dapat ditentukan titik optimal tekanan adalah 0,376 dan titik optimal waktu adalah 0,155. Kemudian untuk nilai optimal dari masing – masing variabel yaitu untuk binder adalah 10,752 Mpa dan waktu adalah 94,65 menit.

b. Uji Tekan

1. Analisa grafik *surface plot* binder dan suhu

Grafik *surface plot* kadar air antara binder (A) dan suhu (B) berdasarkan gambar (4.13) berikut:

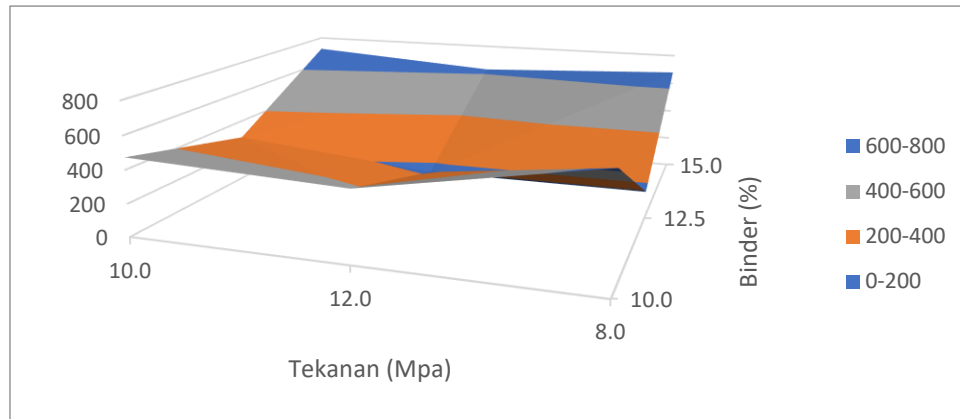


Gambar 4. 13 Grafik *Surface Plot* Kadar Air Antara Binder (A) dan Suhu (B)

Berdasarkan gambar (4.13) yang menampilkan grafik *surface plot* kadar air terhadap binder (A) dan suhu (B), tampak bahwa bentuk kurva yang terbentuk menunjukkan karakteristik *saddle point*. Dari hasil perhitungan titik stasioner, diperoleh nilai optimal binder sebesar -0,1272 dan suhu sebesar 0,0750. Jika dikonversi ke nilai aktual, maka titik optimal untuk binder adalah 12,182% dan untuk suhu adalah 91,5 °C.

2. Analisis grafik *surface plot* binder dan tekanan

Grafik *surface plot* kadar air antara binder (A) dan tekanan (C) berdasarkan gambar (4.14) berikut:

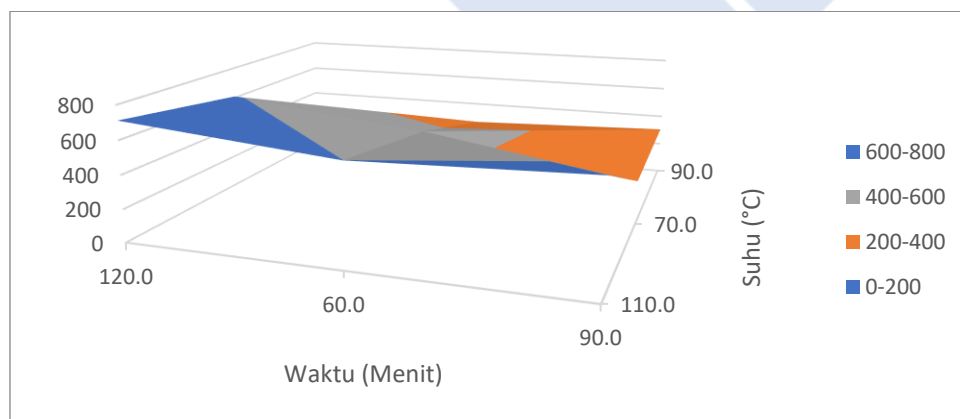


Gambar 4. 14 Grafik *Surface Plot* Kadar Air Antara Binder (A) dan Tekanan (C)

Berdasarkan gambar (4.14) yang menunjukkan grafik *surface plot* kadar air terhadap binder (A) dan tekanan (C), kurva yang terbentuk menggambarkan pola *saddle point*. Dari hasil perhitungan titik stasioner, diperoleh nilai optimal binder sebesar -0,1272 dan tekanan sebesar -0,2059. Jika dikonversikan ke dalam nilai aktual, maka titik optimal untuk binder adalah 12,182% dan untuk tekanan sebesar 9,5882 MPa.

3. Analisis grafik *surface plot* suhu dan waktu

Grafik *surface plot* kadar air antara suhu (B) dan waktu (D) berdasarkan gambar (4.15) berikut:

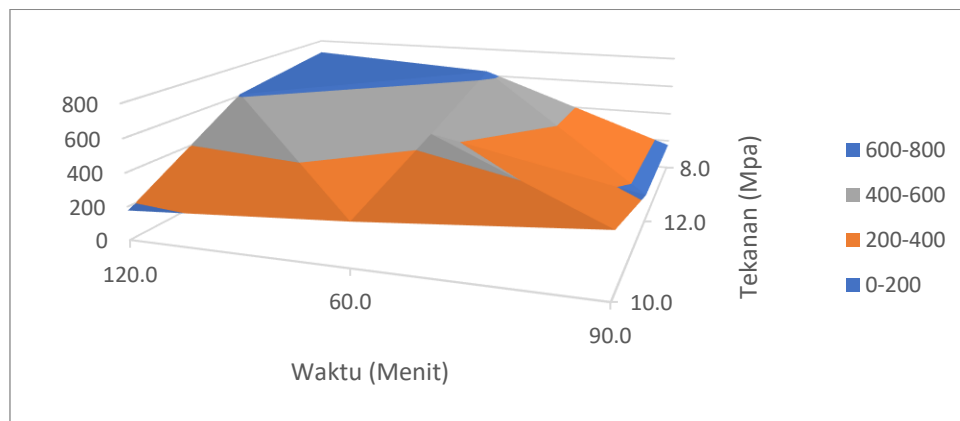


Gambar 4. 15 Grafik *Surface Plot* Kadar Air Antara Suhu (B) dan Waktu (D)

Berdasarkan gambar (4.15) yang menampilkan grafik *surface plot* kadar air terhadap suhu (B) dan waktu (D), terlihat bahwa kurva yang terbentuk menunjukkan pola *saddle point*. Berdasarkan hasil perhitungan titik stasioner, diperoleh nilai optimal suhu sebesar 0,0750 dan waktu sebesar 0,5763. Jika dikonversikan ke nilai aktual, maka suhu optimal adalah 91,5 °C dan waktu optimal adalah 107,289 menit.

4.1 Analisis grafik *surface plot* tekanan dan waktu

Grafik *surface plot* kadar air antara tekanan (C) dan waktu (D) berdasarkan gambar (4.16) berikut:



Gambar 4. 16 Grafik *Surface Plot* Kadar Air Antara Tekanan (C) dan Waktu (D)

Dari gambar (4.16) grafik *surface plot* kadar air antara tekanan (C) dan waktu (D), bahwa kurva yang terbentuk adalah posisi *saddle point* dan berdasarkan nilai stasionari *point* dapat ditentukan titik optimal tekanan adalah -0,2059 dan titik optimal waktu 0,5763. Kemudian untuk nilai optimal dari masing – masing variabel yaitu untuk tekanan adalah 9,5882 Mpa dan waktu adalah 107,289 menit.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis metode RSM menunjukkan bahwa persentase binder dan tekanan berpengaruh dominan terhadap kekuatan tekan briket, sedangkan suhu pengeringan secara signifikan memengaruhi kadar air. Model RSM memiliki nilai R^2 sebesar 0,193 untuk kekuatan tekan dan 0,379 untuk kadar air, yang menunjukkan sebagian variabel berhasil dijelaskan oleh model.
2. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa perbandingan bahan perekat alami memengaruhi kualitas briket; molase yang lebih dominan meningkatkan kepadatan, sedangkan tepung tapioka membantu menjaga kadar air tetap stabil.
3. Berdasarkan analisis metode RSM di dapat hasil komposisi optimal yaitu kekuatan tekan maksimum (808 kPa) tercapai pada 10% perekat, suhu 70°C, tekanan 8 MPa, dan waktu 120 menit. Untuk kadar air terendah (4,00%), kondisi optimalnya adalah 12,5% perekat, suhu 90°C, tekanan 8 MPa, dan waktu 90 menit.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian berikutnya antara lain sebagai berikut:

1. Masih terdapat sejumlah faktor yang dapat memengaruhi kadar air dan uji tekan pada sampel, yang berpotensi untuk dijadikan bahan pertimbangan dalam penelitian selanjutnya.
2. Dalam pengujian setiap sampel dapat ditambahkan dengan uji jatuh yang dimana agar dalam penyimpanan ataupun pengiriman briket batu bara bisa secara spesifik kapan briket akan pecah dalam benturan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. P. J. G. Besar, “PENINGKATAN NILAI TAMBAH (PNT) BATUBARA UNTUK MENDUKUNG KEMANDIRIAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA BUMI INDONESIA,” *dgb.ugm*, 2024.
- [2] A. P. & K. B. F. T. Afin, “Potensi Energi Batubara serta Pemanfaatan dan Teknologinya di Indonesia Tahun 2020 – 2050 : Gasifikasi Batubara,” *Potensi Energi Batubara serta Pemanfaatan dan Teknologinya di Indonesia Tahun 2020 – 2050 : Gasifikasi Batubara. Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, p. 2, 2021.
- [3] R. T. S. A. I. & N. F. B. Pahlevi, “Masa Depan Pemanfaatan Batubara sebagai Sumber Energi di Indonesia.,” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, pp. 50-60, 2024.
- [4] R. Hamdi.I.J, “KARAKTERISTIK BRIKET BOTTOM ASH LIMBAH BATU BARA BERDASARKAN VARIASI PEREKAT TEPUNG KANJI PLTU DI PT. PLN (Persero) UPK TAMBORA KERTASARI TALIWANG KABUPATEN SUMBAWA BARAT,” *Journal Agro Industrial and Sustainability*, 2024.
- [5] D. H. A. & W. T. Yulianto, “Analisis pengaruh perekat alami terhadap kualitas briket batu bara,” *Jurnal Teknologi dan Energi*, pp. 60-68, 2020.
- [6] J. M. S. Fahrur Rozi.M, “PENGARUH PERBANDINGAN KOMPOSISI BRIKET DARI ARANG SERBUK GERGAJI KAYU DAN CANGKANG SAWIT DENGAN PEREKAT MOLASE TERHADAP KADAR AIR, KADAR ABU, LAJU PEMBAKARAN DAN NILAI KALOR BRIKET,” *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, p. 629, 2023.
- [7] “Peleburan Bijih Timah menggunakan Reverberatory furnace di Unit Metalurgi Muntok (Tin Ore Melting using a Reverberatory furnace in the Muntok Metallurgy Unit),” *JITS Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, no. JITS Vol. 2 No. 1, pp. 1-6, 2024.

- [8] P. B. O. Eka Crisdiantoro.E, “Pengaruh Jenis Variasi Perekat pada Briket dari Limbah Ampas Kopi,” *BIOFOODTECH Journal of Bioenergy and Food Technology* , pp. 101-109, 2025.
- [9] L. N. Wahida, ““KARAKTERISTIK BRIKET BIOARANG DARI CAMPURAN LIMBAH,” *Karakteristik briket bioarang dari campuran limbah eceng gondok (eichhornia crassipes), sekam padi dan tempurung kelapa*, p. 1, 2021.
- [10] R. A. H. W. R. S. M. R. M. H. A. B. I. S. & H. U. Bazanet, “Pengaruh Kadar Perekat Terhadap Karakteristik Briket Arang Limbah Kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muell0,” *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, pp. 283-295, 2021.
- [11] A. & S. H. Rahman, “Studi pemanfaatan molase dalam produksi briket batu bara,” *Jurnal Sumber Daya Energi*, pp. 55-64, 2021.
- [12] H. Ainur Rofiq.M, “PENGARUH RASIO PEREKAT TEPUNG TAPIOKA TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN PEMBAKARAN BRIKET SABUT KELAPA DAN SERBUK GERGAJI KAYU CAMPURAN,” *DISTILAT "Jurnal Teknologi Separasi*, p. 1.2, 2023.
- [13] R. Efendi.E, “PENERAPAN RESPONSE SURFACE METHOD (RSM) UNTUK OPTIMASI CAMPURAN MORTAR MENGGUNAKAN FLY ASH SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN,” *Inersia : Jurnal Teknik Sipil*, pp. 1-14, 2024.
- [14] W. S. H. Y. O. M. S. A. Dharta.Y, “Performance Improvement of Coal Dust Briquettes: Application of Taguchi Design and Pareto Analysis for Optimizing Key Processing Variables,” *FLYWHEEL: JURNAL TEKNIK MESIN UNTIRTA*, no. Volume 11, pp. 52 - 57 , 01, April 2025.
- [15] M. M. P. Agung Indra Iswara.M, “STUDI LITERATUR KARAKTERISTIK BRIKET DENGAN PERBEDAAN RASIO CAMPURAN ARANG TEMPURUNG KELAPA DAN BIOMASSA LAINNYA,” *urusan Teknik Kimia*, p. 1.2, 2024.

- [16] R. A. Ismayana.A, "PENGARUH JENIS DAN KADAR BAHAN PEREKAT PADA PEMBUATAN BRIKET BLOTONG," *Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB*, pp. 188-191, 2021.
- [17] E. Suryani, "Studi karakteristik briket batu bara dan pengaruhnya terhadap efisiensi pembakaran.," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, pp. 40-48, 2020.
- [18] A. S. A. Y. M. & R. R. Yopianita, "Biocoal characterization as an environmentally friendly alternative energy innovation composite variations of gasified char with coconut shell charcoal.," *IJFAC (Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry)*, pp. 68-79, 2022.
- [19] N. W. S. & A. F. D. T. Wahyudi, "Optimasi Klasifikasi BatuBara Berdasarkan Jenis Kalor dengan menggunakan Genetic Modified K-Nearest Neighbor (GMK-NN)," *Ekspansional*, pp. 103-112, 2020.
- [20] Zaenudin.M, "Analisis Perbandingan Komposisi Biobriket Berbahan Baku Tempurung Kelapa dan Kayu Rambutan dengan Perekat Pati Kanji dan Molase," *JURNAL CRANKSHAFT*, pp. 59-67, 2024.
- [21] H. Tri Ratnaningsih.A, "Kualitas Briket Arang Serbuk Gergajian dengan Perekat Tepung Tapioka dan Sagu," *JURKIM (JURNAL KARYA ILMIAH MULTIDISIPLIN)*, pp. 1-3, 2022.
- [22] Jumiaty.E, "PENGARUH SIFAT MEKANIK DAN LAJU PEMBAKARAN PADA BRIKET BIOARANG KULIT DURIAN DENGAN PEREKAT TEPUNG TAPIOKA," *JISTech (Journal of Islamic Science and Technology)*, pp. 62-70, 2020.
- [23] M. A. L. M. Cholis.N, "OPTIMASI PRODUK MESIN PRESS PENCETAK BRIKETARANG SEKAM PADI," *Saintech*, pp. 18-25, 2021.
- [24] P. T. Ibrahim Akbar.C, "PERANCANGAN MESIN PRESS BUKU DENGAN MENGGUNAKAN DONGKRAK HIDROLIK," *JURNAL TEKNIK MESIN*, pp. 1-8, 2021.
- [25] H. N. Y. M. A. Hidayat.B, "Optimasi Karakteristik Tepung Komposit Berbasis Tepung Onggok Fermentasi menggunakan Metode Response

- Surface Methodology (RSM),” *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, pp. 126-132, 2020.
- [26] D. C. Montgomery, “Design and Analysis of Experiments (10th ed.),” *ISBN: 978-1119722106.*, 2020.
- [27] N. D. A. M. Ekawati.D, “Penerapan Response Surface Methodology (RSM) Untuk Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit Secara Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Al-Al,” *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)* , pp. 16-18, 2022.
- [28] A. P. H. S. & N. M. Sari, “Uji Normalitas dan Homogenitas dalam Analisis Statistik,” *Jurnal Pendidikan Tambusai*, p. 51329–51337, 2024.
- [29] R. Bevans, “One-way ANOVA | When and How to Use It (With Examples),” *Scribbr.*, 2024.
- [30] Statology., “A Gentle Guide to Sum of Squares: SST, SSR, SSE.,” *Statology*, 2021.
- [31] Bevans.R, “One-way ANOVA | When and How to Use It (With Examples),” *Scribbr*, 2024.

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Martin
Tempat, tanggal lahir: Koba, 25 Maret 2004
Alamat : Jl. Kampung Jawa RT. 017/
RW.000, Kel. Koba, Kec.
Koba, Kab. Bangka Tengah
Jenis Kelamin : Laki – laki
Agama : Buddha
Telp : -
Hp : 087812704916
Email : martinoppo7@gmail.com



2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 6 Koba	Tahun 2010 - 2016
SMP Negeri 1 Koba	Tahun 2016 - 2019
SMA Negeri 1 Koba	Tahun 2019 - 2022

Sungailiat, 14 September 2025

Martin

Lampiran 2 Penimbangan Berat Awal dan Akhir Sampel



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir



Awal



Akhir

Lampiran 3 Pengambilan Data Uji Tekan



Uji 1



Uji2



Uji 3



Uji 4



Uji 5



Uji 6



Uji 7



Uji 8



Uji 9



Uji 10



Uji 11



Uji 12



Uji 13



Uji 14



Uji 15



Uji 16



Uji 17



Uji 18



Uji 19



Uji 20



Uji 21



Uji 22



Uji 23



Uji 24



Uji 25



Uji 26



Uji 27



Uji 28



Uji 29

Lampiran 4 Histori Pembuatan Briket



Lampiran 5 Hasil Uji Menggunakan Mesin Zwick Roell Z020



24.06.25

Test report

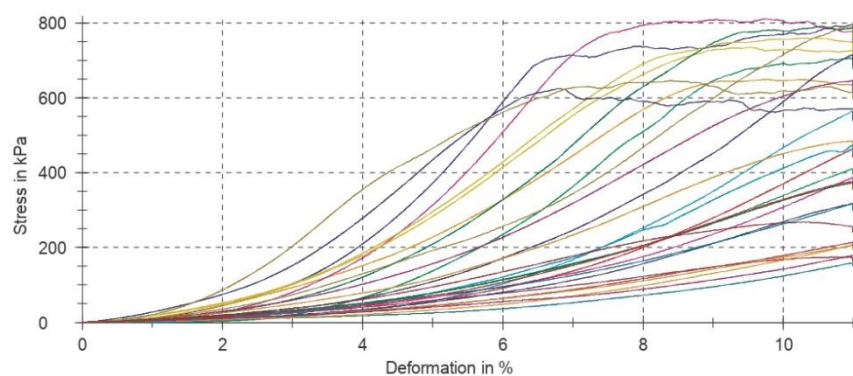
Customer :	Specimen type :	
Job no. :	Pre-treatment :	
Test standard : ISO 844	Tester :	
Type and designation :	Note :	
Material :	Machine data :	
Specimen removal :		

Pre-load : 100 Pa
Test speed : 10 %/min

Test results:

No.	σ_{10} kPa	σ_m kPa	ε_m %	h_0 mm	a_0 mm	b_0 mm	S_0 cm ²
1	-	463	4,9	25	30	30	9,00
2	-	705	6,3	25	30	30	9,00
3	-	714	3,5	25	30	30	9,00
4	-	649	6,3	25	30	30	9,00
5	-	808	9,1	25	30	30	9,00
6	559	-	-	25	30	30	9,00
7	-	734	6,5	25	30	30	9,00
8	168	-	-	25	30	30	9,00
9	-	791	6,5	25	30	30	9,00
10	-	715	5,3	25	30	30	9,00
11	-	484	6,9	25	30	30	9,00
12	-	645	7,0	25	30	30	9,00
13	124	-	-	25	30	30	9,00
14	713	-	-	25	30	30	9,00
15	176	-	-	25	30	30	9,00
16	333	-	-	25	30	30	9,00
17	269	-	-	25	30	30	9,00
18	165	-	-	25	30	30	9,00
19	308	-	-	25	30	30	9,00
20	-	473	5,9	25	30	30	9,00
21	-	759	7,3	25	30	30	9,00
22	-	268	7,5	25	30	30	9,00
23	-	373	6,3	25	30	30	9,00
24	-	624	4,5	25	30	30	9,00
25	177	-	-	25	30	30	9,00
26	-	178	6,8	25	30	30	9,00
27	261	-	-	25	30	30	9,00
29	-	646	6,7	25	30	30	9,00
28	-	376	6,3	25	30	30	9,00

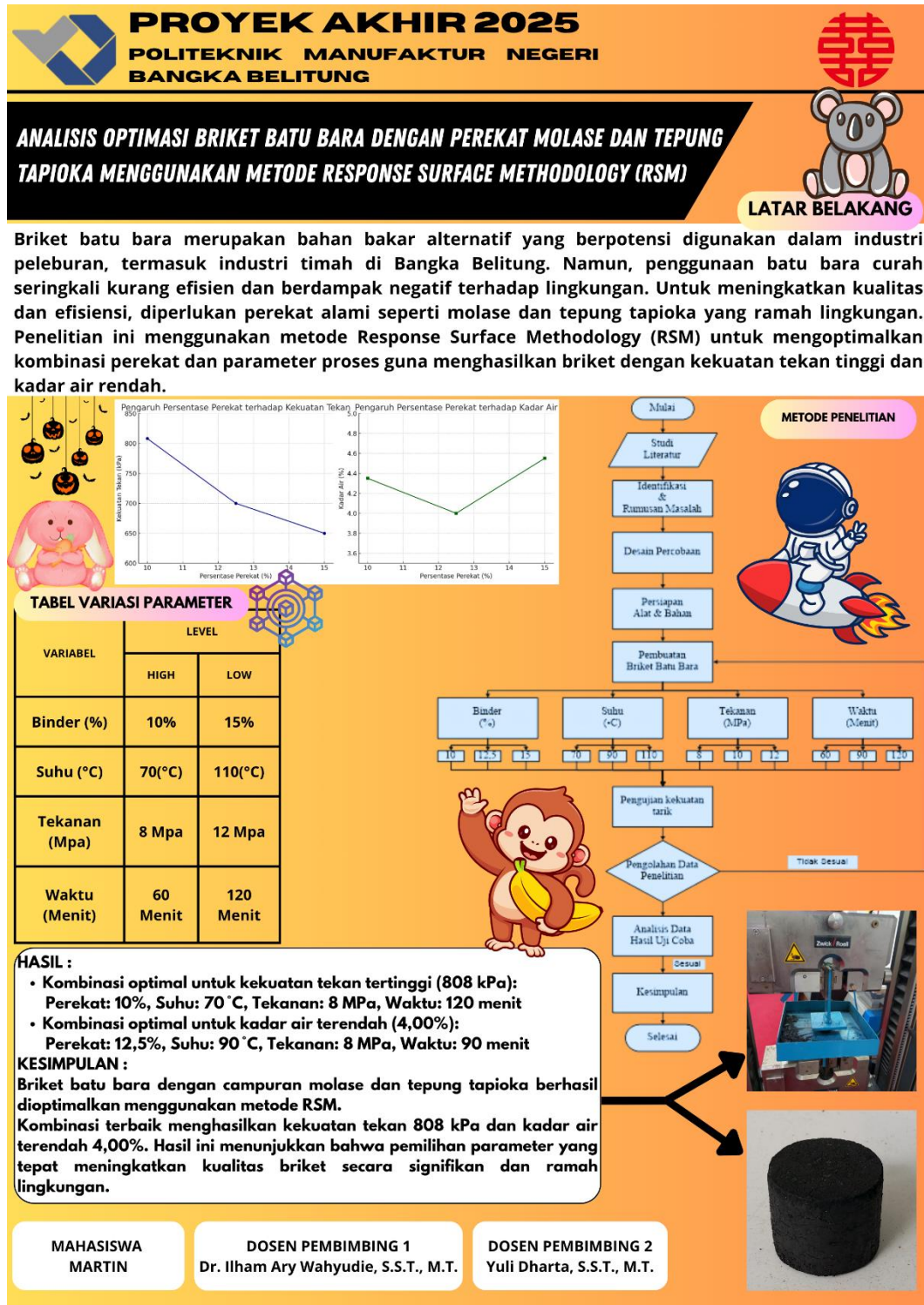
Series graph:



Statistics:

Series	σ_{10}	σ_m	ϵ_m	h_0	a_0	b_0	S_0
n = 29	kPa	kPa	%	mm	mm	mm	cm ²
x	296	578	6,3	25	30	30	9,00
s	184	187	1,2	0,000	0,000	0,000	0,00
v	62,15	32,42	19,27	0,00	0,00	0,00	0,00

Lampiran 6 Poster



Lampiran 7 Hasil Cek Plagiatisme



Page 1 of 73 - Cover Page

Submission ID trn:oid::1:3289947661

Martin Martin

ANALISIS OPTIMASI BRIKET BATU BARA DENGAN PEREKAT MOLASE DAN TEPUNG TAPIOKA MENGGUNAKAN METODE RE...

Proyek Akhir 2025 D4

PA D4 2025

Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Document Details

Submission ID

trn:oid::1:3289947661

Submission Date

Jul 4, 2025, 10:39 AM GMT+7

Download Date

Jul 4, 2025, 11:23 AM GMT+7

File Name

LAPORAN_MARTIN_Cek_Plagiat.docx

File Size

3.1 MB

70 Pages

10,697 Words

65,706 Characters



Page 1 of 73 - Cover Page

Submission ID trn:oid::1:3289947661

5% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

Top Sources

- 5%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

5%  Internet sources
0%  Publications
0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1  Internet
repository.polman-babel.ac.id

5%