

**OPTIMASI FAKTOR PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT
SEMEN/PLASTIK/FOAM DENGAN KOMBINASI
METODE TAGUCHI DENGAN *GREY*
*RELATIONAL ANALYSIS***

PROYEK AKHIR

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



Disusun Oleh:

Muhamad Fajri

NIRM : 1041815

**POLITEKNIK MANUFAKTUR
NEGERI BANGKA BELITUNG
TAHUN 2022**

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI FAKTOR PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT

SEMEN/PLASTIK/*FOAM* DENGAN KOMBINASI

METODE TAGUCHI DENGAN *GREY*

RELATIONAL ANALYSIS

Oleh:

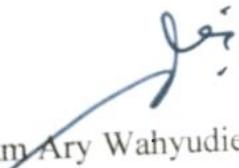
Muhamad Fajri NIRM: 1041815

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


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


Shanty Dwi Krishnaningsih, S.S., M. Hum

Penguji 1

Penguji 2


Husman, S.S.T., M.T.


Sukanto, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhamad Fajri
NIRM : 1041815
Dengan Judul : Optimasi Faktor Proses Pembuatan Komposit
Semen/Plastik/*Foam* Dengan Kombinasi Metode
Taguchi Dengan *Grey Relational Analysis*

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

Sungailiat, 16 Januari 2022

Penulis

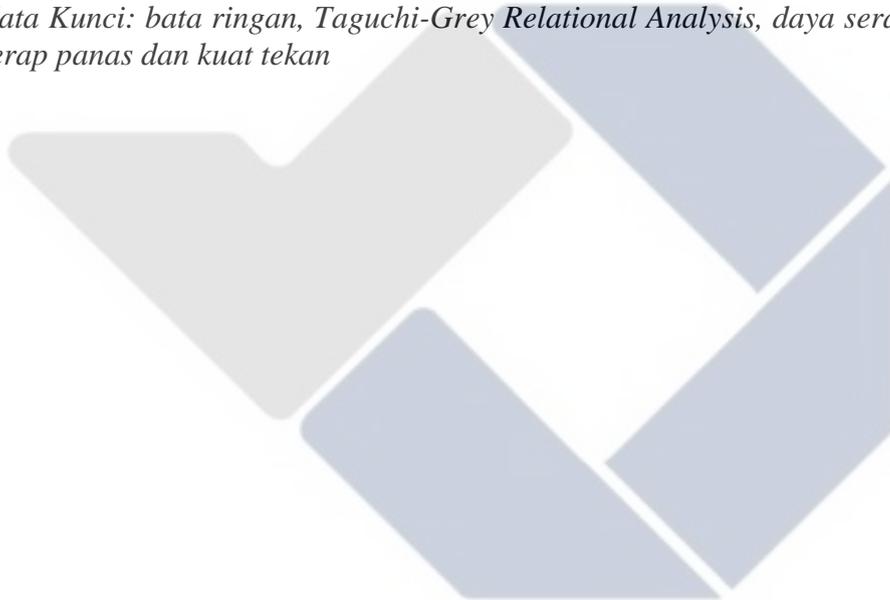


Muhamad Fajri

ABSTRAK

Proyek Akhir ini bertujuan untuk mencari nilai optimal dari pengujian daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan pada bata ringan dengan menggunakan metode Taguchi yang dikombinasikan dengan metode Grey Relational Analysis. Bata ringan yang diteliti adalah bata yang dibuat dengan campuran serat plastik dan foam agent, selain bahan utamanya yang berupa pasir, semen dan air. Serat plastik dan foam agent digunakan dengan hipotesis dapat membuat bata lebih padat isinya dan lebih ringan. Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan nilai selisih nilai Grey Relational Grade terkecil dan terbesar, dengan urutan rangking pertama yaitu faktor plastik dengan selisih terbesar dan terkecil 0,168, rangking kedua adalah faktor semen dengan selisih terbesar dan terkecil 0,156 dan yang rangking ketiga adalah faktor foam agent dengan selisih terbesar dan terkecil 0,127. Nilai optimal yang didapatkan dari pengolahan data secara bersamaan untuk pengujian daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan bernilai 0,785.

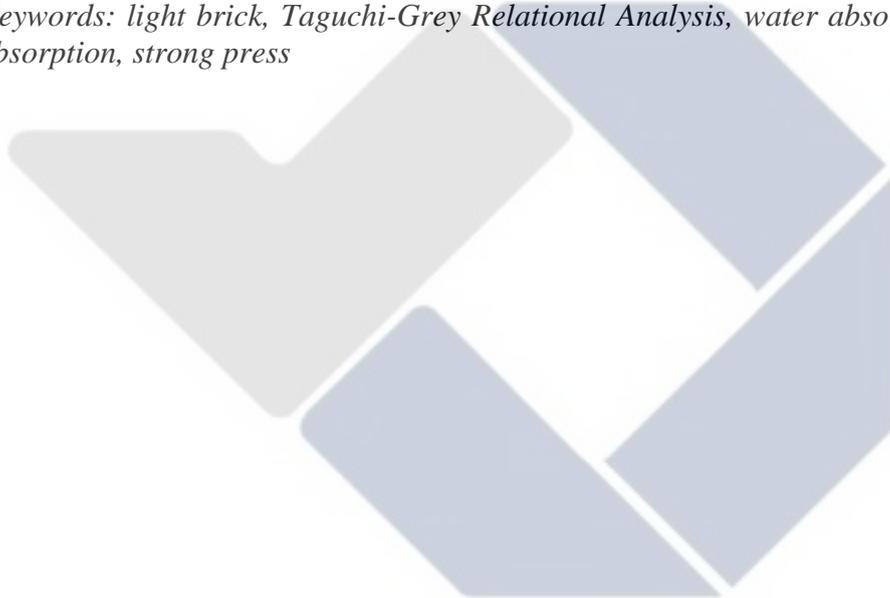
Kata Kunci: bata ringan, Taguchi-Grey Relational Analysis, daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan



ABSTRACT

The Final Project aims to find the optimal value of water absorption testing, heat absorption and strong press on light bricks by using the Taguchi method combined with the Grey Relational Analysis method. The light bricks which are studied are bricks made with a mixture of plastic fibers and foam agents, in addition to the main materials in the form of sand, cement and water. Plastic fibers and foam agents are used hypothetically that they can make bricks denser in content and lighter. The result of this study was obtained the smallest and largest Grey Relational Grade difference value, with the first rank order is the plastic factor with the largest and smallest difference of 0.168, the second rank is the cement factor with the largest and smallest difference of 0.156 and the third rank is the foam agent factor with the largest and smallest difference of 0.127. The optimal value obtained from simultaneous data processing for water absorption testing, heat absorption, and press strength is 0.785.

Keywords: light brick, Taguchi-Grey Relational Analysis, water absorption, heat absorption, strong press



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Proyek Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan laporan Proyek Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik langsung maupun tidak langsung. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak I Made Andik Setiawan, M. Eng, Ph. D. selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
2. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M. Eng. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T. selaku pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, dukungan dan bantuan untuk penelitian Proyek Akhir ini.
5. Ibu Shanty Dwi Krishnaningsih, S.S., M. Hum. selaku pembimbing 2 yang telah memberikan banyak ide-ide dan konsep pemikirannya dalam pengembangan laporan Proyek Akhir ini.
6. Ibu, Ayah, kakak dan adik tercinta yang telah memberikan motivasi, doa, perhatian dan kasih sayang kepada penulis.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian makalah ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Sungailiat, 16 Desember 2022

Penulis



Muhamad Fajri

DAFTAR ISI

| | Halaman: |
|--|----------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT | ii |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR LAMPIRAN | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1. Penelitian Terdahulu | 5 |
| 2.2. Metode Taguchi | 5 |
| 2.3. Metode <i>Grey Relational Analysis</i> | 13 |
| 2.4. Komposit | 16 |
| 2.4.1. Pengertian Komposit | 16 |
| 2.4.2. Bagian Utama Dari Komposit | 16 |
| 2.4.3. Kegunaan Material Komposit | 17 |
| 2.5. Bata Ringan | 17 |
| 2.5.1. Keunggulan dan Kekurangan Bata Ringan | 19 |
| 2.5.2. Bahan Penyusun Bata Ringan | 21 |
| 2.5.3. Sifat Mekanik Batu Bata | 28 |

| | |
|---|----|
| BAB III METODE PELAKSANAAN | 30 |
| 3.1. Diagram Alir | 30 |
| 3.2. Studi Literatur | 31 |
| 3.3. Tahap Perencanaan..... | 31 |
| 3.3.1 Identifikasi Faktor (Variabel Bebas)..... | 32 |
| 3.3.2 Variabel Respon | 32 |
| 3.3.3 Penentuan Jumlah Level dan Angka Level Variabel Proses..... | 33 |
| 3.3.4 Penghitungan Derajat Kebebasan | 33 |
| 3.3.5 Penentuan Matriks Ortogonal | 33 |
| 3.4. Persiapan Alat dan Bahan | 34 |
| 3.4.1. Alat Penelitian | 34 |
| 3.4.2. Bahan Penelitian..... | 36 |
| 3.5. Pembuatan Sampel Bahan Uji..... | 38 |
| 3.6. Prosedur Pengujian Sampel Bata Ringan..... | 39 |
| 3.6.1. Uji Daya Serap Air..... | 39 |
| 3.6.2. Daya Serap Panas..... | 40 |
| 3.6.3. Uji Kuat Tekan..... | 40 |
| 3.7. Pengolahan dan Analisa Data..... | 41 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 42 |
| 4.1. Pengambilan Data | 42 |
| 4.2. Perhitungan dan Analisa | 42 |
| 4.2.1 Daya Serap Air..... | 43 |
| 4.2.2 Daya Serap Panas..... | 44 |
| 4.2.3 Kuat Tekan..... | 46 |
| 4.2.4 Optimasi Multirespon Taguchi - GRA..... | 48 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 57 |
| 5.1. Kesimpulan | 57 |
| 5.2. Saran..... | 57 |
| DAFTAR PUSTAKA | 58 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Matriks Ortogonal L_{18} (Soejanto, 2009) | 9 |
| Tabel 2.2 Analisis Varian (Soejanto, 2009) | 11 |
| Tabel 2.3 Karakteristik Kualitas (Soejanto, 2009) | 12 |
| Tabel 3.1 Penetapan Jumlah Level dan Angka Level Variabel Proses | 33 |
| Tabel 3.2 Penghitungan Derajat Kebebasan Total | 33 |
| Tabel 3.3 Matriks Ortogonal L_{18} dan Replikasi | 34 |
| Tabel 3. 4 Persyaratan Fisik Bata Ringan (SNI 03 0349 1989) | 41 |
| Tabel 4.1 Nilai Hasil Penimbangan Massa Sampel Daya Serap Air | 43 |
| Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Daya Serap Air | 44 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengovenan Daya Serap Panas | 45 |
| Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Daya Serap Panas | 46 |
| Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan | 48 |
| Tabel 4.6 Rasio S/N | 49 |
| Tabel 4.7 Normalisasi Rasio S/N | 50 |
| Tabel 4.8 <i>Grey Relational Coefficient dan Grey Relational Grade</i> | 51 |
| Tabel 4.9 Rerata Nilai <i>Grey Relational Grade</i> Setiap Level Faktor | 52 |
| Tabel 4.10 Campuran Faktor Untuk Respon Optimal | 52 |
| Tabel 4.11 ANAVA untuk <i>Grey Relational Grade</i> | 53 |
| Tabel 4.12 Persen Kontribusi | 54 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Langkah Optimasi Taguchi-Grey (Dwijayanti, 2017) | 14 |
| Gambar 2.2 Bata Ringan (Suryani, 2015)..... | 17 |
| Gambar 3.1 Diagram Penelitian..... | 30 |
| Gambar 3.2 Diagram Ishikawa (Soejanto, 2009)..... | 32 |
| Gambar 3.3 Cetakan bata ringan | 35 |
| Gambar 3.4 Timbangan digital | 35 |
| Gambar 3.5 <i>Infrared Thermometer Krisbow KW06-304</i> | 35 |
| Gambar 3.6 Adukan/Mixer | 36 |
| Gambar 3.7 Ember | 36 |
| Gambar 3.8 Semen..... | 37 |
| Gambar 3.9 Pasir..... | 37 |
| Gambar 3.10 <i>Foam Agent</i> | 38 |
| Gambar 3.11 Gelas aqua yang sudah dicacah..... | 38 |
| Gambar 3.12 Daya Serap Air..... | 39 |
| Gambar 3.13 Daya Serap Panas..... | 40 |
| Gambar 3.14 Kuat Tekan | 40 |
| Gambar 4.1 Sampel Komposit Bata Ringan | 42 |
| Gambar 4.2 Sampel Bata Ringan Setelah Perendaman | 43 |
| Gambar 4.3 Gambar sampel bata ringan setelah dilakukan pengovenan..... | 45 |
| Gambar 4.4 Mesin <i>Zwick Roell</i> | 47 |
| Gambar 4.5 Sampel Bata Ringan Sebelum dan Setelah Dilakukan Pengujian Kuat Tekan..... | 47 |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Riwayat Hidup
- Lampiran 2 : Perhitungan Daya Serap Air
- Lampiran 3 : Perhitungan Daya Serap Panas
- Lampiran 4 : Perhitungan Kuat Tekan
- Lampiran 5 : Perhitungan Rasio S/N Daya Serap Air
- Lampiran 6 : Perhitungan Rasio S/N Daya Serap Panas
- Lampiran 7 : Perhitungan Rasio S/N Kuat Tekan
- Lampiran 8 : Normalisasi Rasio S/N Daya Serap Air
- Lampiran 9 : Normalisasi Rasio S/N Daya Serap Panas
- Lampiran 10 : Normalisasi Rasio S/N Kuat Tekan
- Lampiran 11 : Hitungan Konversi Nilai $X_i(K)$ Ke GRC dan Hitungan GRG
Daya Serap Air
- Lampiran 12 : Hitungan Konversi Nilai $X_i(K)$ Ke GRC dan Hitungan GRG
Daya Serap Panas
- Lampiran 13 : Hitungan Konversi Nilai $X_i(K)$ Ke GRC dan Hitungan GRG
Kuat Tekan
- Lampiran 14 : Hitungan Anava
- Lampiran 15 : Sampel Daya Serap Air
- Lampiran 16 : Sampel Kuat Tekan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi dibidang konstruksi terus berkembang setiap harinya. Salah satu perkembangan teknologi dibidang konstruksi adalah inovasi material dalam pembuatan bata ringan. Bata ringan saat ini banyak digunakan dalam bidang konstruksi karena memiliki kelebihan dalam bobot yang lebih ringan dari batu bata biasa sehingga dapat mengurangi beban struktur bangunan. Walaupun komponen utama dalam pembuatan bata ringan adalah semen dan pasir, namun pembuatan bata ringan saat ini banyak menggunakan bahan-bahan campuran yang semakin kompleks. Pembuatan bata ringan juga merupakan salah satu inovasi material yang sedang *trending* karena dapat mendaur ulang bahan-bahan yang tidak terpakai lagi seperti sampah plastik, sisa pakaian yang tidak digunakan lagi, sekam padi dan *foam agent*.

Sampah plastik merupakan sampah yang bersifat *biodegradable* (sulit terurai secara alami), sehingga menimbulkan permasalahan di lingkungan hidup masyarakat. Diantara berbagai jenis sampah plastik yang paling banyak ditemukan adalah jenis *polyethylene (low density and high density)* yang biasanya berbentuk botol plastik dan kantong plastik. Dalam bidang material teknik, plastik memiliki beberapa sifat unggulan yaitu ketahanan korosi, keawetan, isolator yang baik, murah dan mudah dalam pembuatannya. Sebuah penelitian yang diterbitkan dalam *Journal of Traffic and Transportation Engineering* memberikan informasi tentang bagaimana plastik dapat digunakan untuk membuat bata ringan. Pada penelitian ini dengan nilai keseluruhan 28 hari didapatkan nilai tertinggi untuk perlakuan jenis pasir, LDPE DAN PET 20%, 20%, 60% memiliki nilai 404kg/cm², nilai terendah terdapat pada PET konsentasi 100% memiliki nilai 161kg/cm³ (Kamaliah, 2019).

Serat plastik pada umumnya digunakan sebagai bahan pembuatan mainan, yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan tambah pada bata bata ringan yang bertujuan untuk menutup rongga sehingga bata menjadi lebih ringan, dan dapat berfungsi sebagai *elemen non-struktural* pada bangunan seperti dinding partisi. Bata ringan yang memakai serat (*fiber concrete*) adalah material komposit yang terbuat dari semen, pasir dan bentuk bahan lain berupa serat sampah plastik. Serat limbah plastik pada bata ini memiliki efek mencegah retak sehingga bata ringan lebih ulet dari pada bata biasanya (Pamungkas & Risdianto, 2020).

Beberapa penelitian pengaruh penambahan plastik dan foam pada pembuatan bata ringan telah banyak dilakukan. (Pamungkas & Risdianto, 2020) menguji tentang pengaruh penambahan bahan campuran dalam pembuatan bata ringan yang berupa serat botol plastik, *catalyst* dan *fly ash* terhadap sifat fisiknya. Berat jenis pada penambahan 0.3% serat botol plastik terjadi berat jenis yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa serat botol plastik, tetapi untuk penambahan 0.1% serat botol plastik dan 0.5% serat botol plastik terjadi penurunan berat jenis beton.

Penelitian lain dilakukan (Taufik, 2017) menguji tentang pengaruh penambahan *foaming agent*. Hasil kuat tekan optimum beradaa di varian 0,9% dengan nilai pada umur 7 hari 0,489 Mpa, 14 hari 0,578Mpa dan 28 hari 0,667Mpa. Hasil pengujian *furnace* bertahan < 500°C dan pengujian *akustik* sebesar 3%.

Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan diatas, penggunaan plastik atau sampah plastik telah menjadi alternatif inovasi dibidang konstruksi. Melihat peluang banyaknya penggunaan plastik dalam pembuatan bata ringan maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan plastik, dalam kasus penelitian ini menggunakan sampah plastik, yang tidak hanya bertujuan untuk perkembangan kemajuan dibidang konstruksi, namun juga sampah plastik dapat mengurangi permasalahan dibidang lingkungan hidup. Dalam penelitian ini sampah plastik yang digunakan sebagai bahan campuran adalah berjenis *polypropylene* yang berbentuk cangkir plastik aqua. Jenis sampah plastik ini banyak sekali ditemukan di sekitar kehidupan masyarakat, sehingga

penggunaannya diharapkan dapat mengurangi kerusakan lingkungan dan juga pemanfaatan limbah yang memiliki nilai jual dengan menjadikannya sebagai bahan campuran dalam penelitian yang dilakukan penulis. Dalam penelitian ini penulis melakukan penelitian komposit dengan bahan semen, plastik dan *foam* untuk mengetahui nilai optimum dari uji daya serap air, uji daya serap panas dan kuat tekan dari hasil cetakan bata ringan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan dalam penelitian ini adalah berapa nilai optimum pada pengujian daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan pada bata ringan dengan bahan campuran semen, pasir, plastik, air dan *foam agent*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan agar pemeriksaan dapat berjalan secara terarah dan terkoordinasi, serta dapat mencapai tujuan yang dicapai adalah sebagai berikut.

1. Bahan tambahan yang digunakan adalah plastik *polypropylene* yang biasanya berbentuk gelas mineral dan *foam agent* yang berjenis AKS.
2. Metode yang digunakan dalam mencetak komposit adalah metode Taguchi dengan kombinasi *Grey Relational Analysis*.
3. Pengujian yang digunakan adalah uji daya serap air, uji daya serap panas dan uji daya kuat tekan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah adalah mengetahui nilai optimum pada bata ringan pada pengujian daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan yang memiliki nilai optimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai optimum daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan.
2. Untuk mengetahui volume fraksi pada bata ringan.

3. Pemanfaatan sampah plastik dan *foam agent* sebagai bahan tambahan bata ringan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Pada saat melakukan sebuah penelitian dibutuhkan sumber-sumber untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan. Baik penelitian ataupun teori-teori dasar dari penelitian tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait bata ringan disampaikan pada bagian berikut.

Penelitian pengaruh penambahan plastik dan *foam* pada pembuatan bata ringan telah banyak dilakukan. Supriyadi (2020) melakukan penelitian tentang adanya pengaruh penambahan plastik terhadap mutu bata ringan. Secara umum bata ringan (*hebel*) yang ditambahkan plastik dengan setiap 1% sampai 10%, menunjukkan kekuatan tekan yang rata-ratanya menurun. Kekuatan tekan rata-rata tertinggi sebesar 17,2kg/cm² dan terendah 9,88kg/cm².

Widyawati (2020) melakukan penelitian dengan memanfaatkan serat sisal dan limbah plastik untuk pembuatan bata ringan *cellular lightweight concrete* (CLC) sebagai pengisi. Pada penambahan serat sisal yang lebih banyak 4 kali dari plastik PET (4:1) mendapatkan nilai kekuatan tekan paling tinggi sebesar 8,5 Mpa setara dengan 86,674kg/cm².

Penelitian lain dilakukan oleh Setyowati M (2019) dengan menambahkan *foam agent* pada bata ringan. Pada persentase *foam agent* 0 - 2,5% selama 28 hari mendapatkan nilai kuat tekan berkisar antara 40,07 – 0,66kg/m², nilai berat volume 1356,39 – 573,33kg/m³ dan nilai daya serap air 26,79 – 37,86%.

2.2. Metode Taguchi

Metode Taguchi atau yang biasa disebut sebagai metode *Robust Design* adalah metode rekayasa yang bertujuan meningkatkan kualitas produk dan proses, mengurangi biaya dan sumber daya penelitian sesedikit mungkin. Metode Taguchi mencoba mencapai tujuan ini dengan cara menjadikan produk dan proses tidak

peka terhadap berbagai faktor gangguan, misalnya bahan, peralatan manufaktur, tenaga kerja dan kondisi operasi. Metode Taguchi dalam proses pembuatan produk bersifat *robust* yang artinya kokoh atau tangguh, maka sebab itu juga metode Taguchi disebut dengan *Robust Design* (Soejanto, 2009).

Metode Taguchi atau metode *Robust Design* ini memperkenalkan metode desain eksperimental yang dapat merancang produk dan proses yang tahan terhadap kondisi lingkungan. Mengembangkan kualitas produk yang dapat menahan perubahan komponen dan meminimalkan resiko cacat produk. Metode Taguchi memiliki keunggulan dan kekurangan. Dari segi keunggulan metode ini lebih efisien karena bisa melakukan penelitian dengan banyak melibatkan faktor dan tingkat faktor, proses yang konsisten untuk mendapatkan hasil produk dan kokoh pada faktor yang tidak bisa dikendalikan. Sedangkan contoh kekurangannya adalah susunan desain yang sangat kompleks, sehingga membutuhkan cara untuk mengatasinya, yaitu dengan melakukan pemilihan desain eksperimen dengan hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian (Soejanto, 2009).

Desain eksperimen merupakan proses evaluasi secara bersamaan kemampuan dua atau lebih faktor yang berpengaruh terhadap rata-rata atau variabilitas dari penggabungan karakteristik produk atau proses tertentu (Soejanto, 2009). Agar tercapai secara efektif, faktor dan tingkat faktor dibuat berbeda, kemudian hasil dari campuran uji tertentu diamati dan hasilnya dianalisis. Hasil analisis ini menentukan tindakan selanjutnya. Secara luas, rancangan percobaan dengan metode Taguchi terbagi menjadi tiga tahapan, yaitu:

1. Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan ialah tahap yang paling penting. Pada tahap ini, peneliti perlu mempelajari eksperimen sebelumnya. Akurasi pada tahap ini akan mengarah pada eksperimen yang berupa informasi penting. Terjadinya informasi penting disaat hasil percobaan menunjukkan indikasi faktor dan tingkat yang mengarah pada peningkatan kinerja produk.

Beberapa langkah yang terdiri dari tahap perencanaan ini, yaitu (Soejanto, 2009):

a. Identifikasi faktor (Variabel bebas)

Faktor atau variabel bebas yaitu perubahan variabelnya tidak bergantung dengan variabel lain. Faktor dipilih dari mana saja untuk diselidiki pengaruhnya terhadap variabel respon. Dengan demikian, percobaan dapat dilakukan secara efektif dan efisien. Dalam penelitian ini menggunakan metode diagram sebab akibat untuk mengidentifikasi faktor-faktornya.

Diagram sebab-akibat atau yang biasanya disebut diagram Ishikawa, ialah metode yang paling sering dipakai sebagai pengidentifikasi faktor yang ada. Langkah-langkah dalam metode ini, yaitu:

- Menyatakan variabel bebas.
- Mengurutkan penyebab yang mungkin berpengaruh terhadap variabel bebas.
- Posisi penunjukkan sebab ada sebelah kiri dan akibat berada disebelah kanan dan garis miring digunakan sebagai penghubung.

b. Variabel respon

Variabel respon yaitu perubahan dimana variabelnya bergantung pada variabel lain. Suatu eksperimen harus ditentukan dengan jelas variabel respon yang akan diteliti. Variabel respon merupakan karakteristik kualitas, yaitu:

- Karakteristik yang bisa diukur
Skala kontinyu digunakan untuk mengukur semua hasil akhir yang diamati. Misalnya tekanan, temperatur, berat dan lain-lain.
- Karakteristik atribut
Hasil akhirnya tidak bisa diukur menggunakan skala kontinyu dan juga tidak bisa diklasifikasikan dengan berkelompok. Misalnya jelek, baik, retak dan sebagainya.
- Karakteristik dinamik
Karakteristik ini adalah fungsi representasi dari proses yang sedang diamati. Penggambaran proses yang diamati dengan signal dan output digambarkan sebagai dari hasil signal. Misalnya sistem transmisi otomatis dengan output dan input putaran ialah perubahan getar.

c. Penentuan jumlah dan angka level variabel proses

Pemilihan jumlah level bisa berpengaruh terhadap keakuratan hasil dan biaya melakukan percobaan. Semakin banyak tingkatan yang dipelajari, semakin akurat hasil percobaan yang dihasilkan karena banyak data yang diperoleh. Tetapi banyaknya tingkatan bisa menambahkan biaya yang harus dikeluarkan.

d. Penghitungan derajat kebebasan

Penghitungan derajat kebebasan berfungsi untuk menetapkan jumlah percobaan yang akan dilaksanakan untuk mempelajari faktor-faktor yang diamati. Derajat kebebasan merupakan sebuah konsep dalam mendeskripsikan seberapa banyak informasi yang dihasilkan dari percobaan dan seberapa besar percobaan yang mesti dilakukan. Pengklasifikasian persamaan derajat kebebasan sesuai kegunaannya dibawah ini, yaitu:

- Persamaan umum dalam menentukan jumlah eksperimen dari derajat kebebasan matrik ortogonal digunakan persamaan: $V_oA = (\text{banyaknya eksperimen} - 1)$.
- Dalam menghitung jumlah level yang harus diuji atau adanya pengamatan pada sebuah faktor menggunakan persamaan: $V_{fl} = (\text{banyaknya level} - 1)$.
- Untuk mengetahui derajat kebebasan dari total derajat kebebasan atau sebuah matrik percobaan menggunakan persamaan: $\text{Total } V_{fl} = (\text{banyaknya faktor}) \times (V_{fl})$.

e. Penentuan Matriks Ortogonal

Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut Matriks Ortogonal. Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari metode Matriks Ortogonal terletak pada pemilihan kombinasi level variabel-variabel input masing-masing eksperimen.

Pemilihan Matriks Ortogonal yang sesuai ditentukan dari jumlah derajat kebebasan dan jumlah level variabel. Matriks ini memiliki kemampuan untuk mengevaluasi jumlah variabel dengan jumlah percobaan yang minimum. Suatu Matriks Ortogonal dilambangkan persamaan:

La (b^c)

Keterangan:

L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya percobaan

b = Banyaknya level variabel

c = Banyaknya kolom faktor

Matriks Ortogonal $L_{18}(2^1 \times 3^2)$ ialah salah satu matriks orthogonal standar terdiri dari beberapa level. Dibawah ini akan menunjukkan Tabel 2.1 Matriks Ortogonal L_{18} (Soejanto, 2009).

Tabel 2.1 Matriks Ortogonal L_{18} (Soejanto, 2009)

| Eksperimen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 |
| 6 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 7 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 8 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 10 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 12 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 17 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 18 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 |

2. Tahap Pelaksanaan

Pada tahap ini terbagi menjadi dua, yaitu menentukan banyaknya replikasi dan randomisasi melakukan percobaan.

a. Jumlah Replikasi

Replikasi merupakan pengulangan percobaan dengan perlakuan sama dengan kondisi sama pada sebuah eksperimen untuk menghasilkan keakuratan yang makin tinggi, meminimalisir tingkat kegagalan dan mendapatkan harga taksiran dari kegagalan.

b. Randomisasi

Eksperimen selalu mencakup pengaruh faktor lain yang tidak diharapkan atau tidak bisa dikontrol. Pengaruh ini dapat dikurangi dengan menyebarkan faktor-faktor ini selama pengacakan. Randomisasi bertujuan untuk menyebarkan pengaruh faktor tak terkendali disemua unit percobaan, berikan semua unit percobaan kesempatan yang sama agar didapatkan suatu perlakuan kemudian ada kehomogenan disetiap perlakuan sama, hasil percobaan didapatkan yang bebas satu sama lainnya.

3. Tahap Analisis

Mengumpul dan mengolah data dilakukan pada tahap ini. Maka dari itu juga, untuk data hasil percobaan dilakukan perhitungan dan pengujian pada tahap ini.

a. Analisis Varian (ANAVA)

Analisis varian (ANAVA) ialah teknik untuk menganalisis data yang dikumpulkan selama perencanaan penelitian statistik. ANAVA adalah teknik untuk menganalisis yang memerlukan penguraian semua varian bagian yang sedang dipertimbangkan. ANAVA digunakan untuk menentukan perkiraan akurasi model dengan mengidentifikasi kontribusi faktor. Jumlah kotak untuk setiap kolom digunakan untuk melakukan ANAVA pada matriks ortogonal. Tabel 2.2 ANAVA dapat dilihat seperti dibawah ini (Soejanto, 2009):

Tabel 2.2 Analisis Varian (Soejanto, 2009)

| Sumber Variasi | <i>Sun of Square</i> (SS) | <i>Degrees of Freedom</i> (dB) | <i>Mean Square</i> (MS) | F _{hitung} |
|----------------|--|--------------------------------|--|------------------------|
| Variabel A | $SS_A = n_A \sum_{i=1}^n (A_1 - \bar{y})^2$ | $D_A - 1$ | $MS_A = \frac{SS_A}{df_A}$ | $\frac{MS_A}{MS_E}$ |
| Variabel B | $SS_B = n_B \sum_{i=1}^n (B_1 - \bar{y})^2$ | $D_B - 1$ | $MS_B = \frac{SS_B}{df_B}$ | $\frac{MS_B}{MS_E}$ |
| Variabel C | $SS_C = n_C \sum_{i=1}^n (C_1 - \bar{y})^2$ | $D_C - 1$ | $MS_C = \frac{SS_C}{df_C}$ | $\frac{MS_C}{MS_E}$ |
| Interaksi | $SS_{AB} = \sum_i \sum_j \frac{x_{ij}^2}{n_A}$ | $(a - 1)(b - 1)$ | $MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$ | $\frac{MS_{AB}}{MS_E}$ |
| Error | $SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C$ | $ab(n-1)$ | $MS_E = \frac{SS_E}{df_E}$ | |
| Total | $SS_T = \sum_{i=1}^n (y_1 - \bar{y})^2$ | $n - 1$ | | |

b. Persen kontribusi

Persen kontribusi digunakan dalam mengindikasikan kekuatan relatif sebuah variabel atau interaksi untuk mengurangi variasi yang terjadi. Komponen-komponen yang dihitung sebagai berikut (Dwijayanti, 2017):

1. Faktor
2. Interaksi faktor
3. Error

Jika persen kontribusi error kurang dari 15% berarti tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Apabila persen kontribusi error lebih dari 15% berarti ada faktor yang berpengaruh terabaikan, sehingga error yang terjadi terlalu besar. Perhitungan persen kontribusi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

$$SS'_A = SS_A - v_A \cdot MS_E \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

SS_A = jumlah kuadrat dari faktor yang akan dihitung

SS_T = jumlah kuadrat total

V_A = derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

MS_E = Rata-rata kuadrat dari faktor *error*

- c. Interval keyakinan (1 - α) 100% untuk kondisi optimum (Dwijayanti, 2017):

$$CI_{optimasi} : \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E}{n_{eff}}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI \dots\dots\dots(4)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan variabel-variabel untuk menduga rata-rata}} \dots\dots(5)$$

- d. Rasio S/N

Rasio *Signal-Noise* (S/N) digunakan untuk memilih tingkat faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik percobaan. Berikut ini adalah perhitungan nilai rasio S/N berdasarkan jenis karakteristik kualitas setiap respons (Soejanto, 2009):

Tabel 2.3 Karakteristik Kualitas (Soejanto, 2009)

| Karakteristik | Target | Contoh |
|---------------------------|----------------------------------|--|
| <i>Nominal-is-best</i> | Tertuju pada nilai tertentu | Voltage |
| <i>Smaller-the-better</i> | Semakin kecil, maka semakin baik | Persentase kecacatan, Keausan alat |
| <i>Larger-the-better</i> | Semakin besar, maka semakin baik | Kuat tarik, Kuat tekan, Kekuatan las |

Rumus persamaan rasio S/N mulai dari karakteristik yang pertama sebagai berikut:

1. *Nominal is best* (tertuju pada nilai tertentu) menggunakan rumus persamaan:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \dots\dots\dots(6)$$

2. *Smaller the better* (semakin kecil maka semakin baik) menggunakan rumus persamaan:

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \dots\dots\dots(7)$$

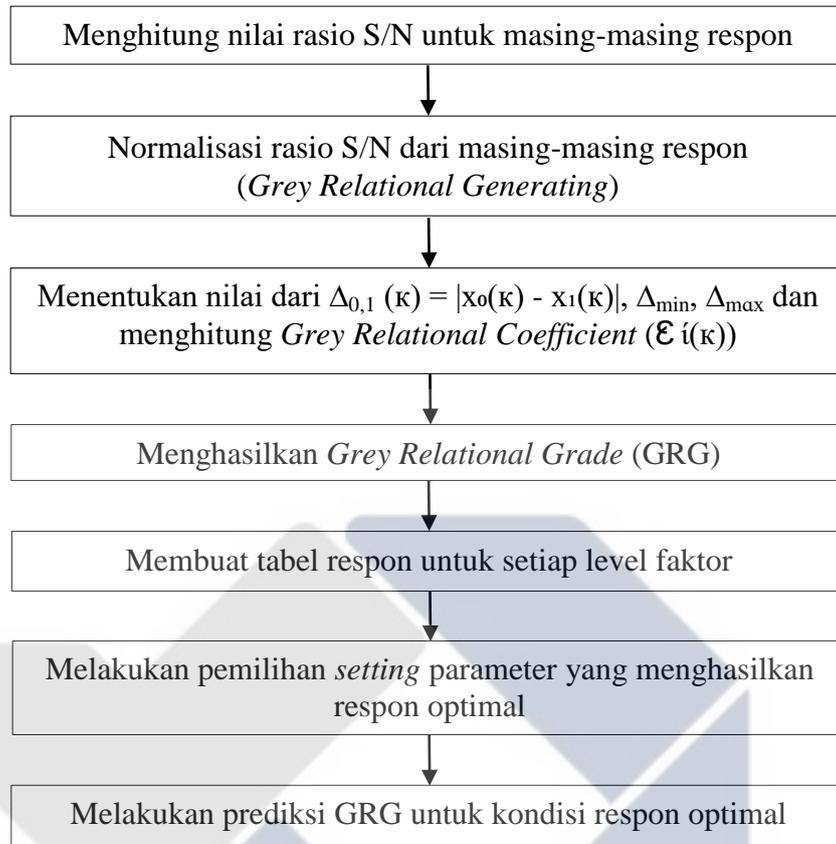
3. *Larger the better* (semakin besar maka semakin baik) menggunakan rumus persamaan:

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \dots\dots\dots(8)$$

2.3. Metode *Grey Relational Analysis*

Optimasi cuma bisa dilakukan untuk satu respon dalam metode taguchi dan agar bisa melakukan optimasi dengan beberapa respon secara bersamaan menggunakan penggabungan dari metode *Grey Relational Analysis* (GRA) dan Taguchi.

Metode GRA diawali dengan teori *Grey Sistem* merupakan dasar suatu metode baru yang berfokus ke pembelajaran tentang suatu permasalahan yang mempunyai informasi dan data yang minimum yang dibuat oleh Dr. Julong Deng pada tahun 1982. Fungsi dari metode ini sebagai pembangun model hubungan dan melakukan analisis hubungan antar parameter dan respon, dan sebagai landasan dalam melakukan pengambilan keputusan dan prediksi. Pada dasarnya GRA dipakai untuk optimasi dalam mengubah beberapa respon jadi satu respon (Pamuji, 2015). Langkah untuk proses optimasi menggunakan metode Taguchi-Grey bisa dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Langkah Optimasi Taguchi-Grey (Dwijayanti, 2017)

Penjelasan dari langkah optimasi Taguchi-Grey sebagai berikut (Dwijayanti, 2017):

1. Menghitung nilai rasio S/N berdasarkan dari masing-masing respon dan rumus persamaan setiap karakteristik.
2. Melakukan normalisasi pada rasio S/N respon dinormalkan yang besarnya antara 0 dan 1. Penghitungan nilai normalisasi respon dilakukan sesuai karakteristik masing-masing respon. Untuk penghitungan karakteristik *Larger the better* (semakin besar maka semakin baik) menggunakan persamaan:

$$x_i(k) = \frac{n_{i(k)} - \min(n_{i(k)})}{\max(n_{i(k)}) - \min(n_{i(k)})} \dots\dots\dots(9)$$

Sedangkan untuk penghitungan *Smaller the better* (semakin kecil maka semakin baik) menggunakan persamaan:

$$x_i(k) = \frac{\text{maks}(n_{i(k)}) - n_{i(k)}}{\text{maks}(n_{i(k)}) - \text{min}(n_{i(k)})} \dots\dots\dots(10)$$

3. Mencari *Deviation Sequence* $\Delta_{0,1}(k)$ digunakan persamaan:

$$\Delta_{0,1}(k) = |X_0(k) - X_i^*(k)| \dots\dots\dots(11)$$

4. Mencari nilai *Grey Relational Coefficient* digunakan persamaan:

$$\mathcal{E}_{i(k)} = \frac{\Delta_{min} + \epsilon \times \Delta_{max}}{\Delta_{0,1(k)} + \epsilon \times \Delta_{max}} \dots\dots\dots(12)$$

Kemudian nilai yang telah di konversi ke GRC di rata-ratakan sebagai suatu nilai ukuran *Grey Relational Grade* (GRG). Catatan nilai GRG adalah γ_i . Melalui peringkat faktor atas dasar nilai GRG maka diperoleh faktor yang mempunyai pengaruh terbesar dalam proses tersebut.

5. Menentukan campuran parameter untuk respon optimal semakin kecil nilai GRG maka semakin baik dan semakin besar nilai GRG maka semakin baik pula respon dari proses pada campuran parameter tersebut.

6. Memprediksi nilai *GRG* hasil optimasi

Nilai prediksi *GRG* didasarkan campuran level parameter untuk mendapatkan hasil pengujian yang optimum menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = Y_m + \sum_{i=1}^0 (\bar{y}_1 - Y_m)^2 \dots\dots\dots(13)$$

Ket:

\bar{y}_1 = rerata *GRG* pada level optimum

\hat{Y} = Nilai rerata dari total *GRG*

0 = Jumlah parameter yang memengaruhi pengujian

Rumus persamaan untuk hitungan f_{tabel} sebagai berikut:

$$df1 = k - 1 \dots\dots\dots(14)$$

$$df2 = n - k \dots\dots\dots(15)$$

Keterangan:

k = Jumlah variabel (bebas + terikat)

n = Jumlah sampel pembentuk regresi

2.4. Komposit

2.4.1. Pengertian Komposit

Komposit merupakan perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan campuran sifat fisik tiap-tiap material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampurkan dan terjadi jalinan permukaan antara setiap penyusun. Dari campuran tersebut akan menghasilkan material komposit yang memiliki sifat mekanik serta karakteristik yang berbeda dari material komposit yang memiliki sifat mekanik serta karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (Gibson, 1994).

Komposit merupakan suatu material yang terbentuk dari dua kombinasi atau lebih melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari pembentukan materialnya berbeda. Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur yaitu serat (*fiber*) sebagai pengisi dan matrik sebagai pengikat serat. Campuran yang dihasilkan dalam komposit yaitu memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda terhadap material pembentukannya. Komposit juga dapat dibentuk dari kombinasi dua atau lebih material, baik logam, organik ataupun anorganik (Mahmuda, 2013).

Dari 2 artikel diatas dapat disimpulkan bahwa material komposit terdiri dua komponen utama yaitu *matriks* (bahan pengikat) dan *filler* (bahan pengisi). *Filler* merupakan bahan pengisi yang biasa digunakan dalam pembuatan komposit, yang berupa serat atau serbuk. Matriks dalam komposit berfungsi sebagai bahan pengikat serat sehingga menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari kerusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matrik. Bahan yang biasa digunakan dalam material matrik berupa polimer.

2.4.2. Bagian Utama Dari Komposit

Pada komposit terdapat 2 bagian utama, yaitu:

- Penguat (*Reinforcement*) merupakan salah satu bagian utama dari komposit yang mempunyai fungsi sebagai penahan beban utama pada komposit.

- Serat gelas (*Glass Fiber*) merupakan bahan yang tidak mudah terbakar. Serat jenis ini biasanya dipakai sebagai penguat matrik jenis *polymer*.

2.4.3. Kegunaan Material Komposit

Pengaplikasian material komposit dalam kehidupan sekitar kita, yaitu dalam bidang kelautan digunakan sebagai bahan pembuatan kapal, bidang penerbangan digunakan sebagai bahan pembuatan pesawat, bidang otomotif dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan komponen mesin dan bahan pembuatan komponen kereta, bidang olahraga dipakai dalam bahan pembuatan raket tenis dan bahan pembuatan *stick* golf, bidang pertahanan digunakan sebagai bahan pembuatan jet tempur, bahan pembuatan peluru dan bahan pembuatan kapal selam, bidang industri pembinaan dimanfaatkan untuk bahan pembuatan jembatan dan bahan pembuatan rumah.

2.5. Bata Ringan



Gambar 2.2 Bata Ringan (Suryani, 2015)

Bata ringan merupakan batu bata berpori yang mempunyai berat jenis (*density*) yang lebih ringan dibandingkan batu bata yang kita temui. Berat jenis dari batu bata ini diantara $600-1600 \text{ kg/m}^3$ yang bergantung pada komposisi campuran (*mix design*) sebagai kekuatannya. Pertama kali bata ringan ini dikembangkan di Swedia pada tahun 1923 yang digunakan untuk alternatif dari material bangunannya. Bata ringan dikembangkan lagi oleh Joseph Hebel di Jerman pada tahun 1943. Bata ringan diperkenalkan ke Indonesia pada tahun 1995

saat PT Hebel Indonesia di Karawang Timur, Jawa Barat didirikan (Wijayanti, 2012).

Menurut (Kristiana, 2006) bata ringan merupakan batu yang memiliki bobot ringan atau yang biasa disebut dengan *foam concrete* yang bahannya terbuat dari mortar dan dicampur dengan *foaming agent* dengan melaksanakan *control* terhadap pencampuran *foaming* untuk membuat densitas bata ringannya berada di antara 500-1600 kg/m³. Definisi lain yang dijelaskan oleh (Novi Suryani, Mengetahui pengaruh penambahan fly ash pada pembuatan bata ringan dari bahan dasar pasir vulkanik terhadap sifat mekanik bata ringan meliputi kuat tekan, 2015) bahwa bata ringan mempunyai suatu klasifikasi dalam hal densitasnya, yaitu mempunyai densitas diantara 2000 kg/m³ atau lebih kecil. Ada dua jenis bata ringan yang sering dimanfaatkan dalam pengaplikasiannya pada konstruksi sebagai dinding bangunan, yang pertama bata ringan yang berjenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) bata jenis ini sudah bisa diproduksi skala pabrik dan yang ke dua bata ringan yang berjenis *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Bahan utama penyusun bata dari dua jenis tersebut sama yaitu memakai semen, pasir, *fly ash*, busa dan air.

Bata ringan *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) menurut Lee Abe pada tahun 2005, merupakan beton selular yang dibikin secara berpori dengan adanya gelembung udara karena adanya reaksi kimia dari serbuk aluminium yang digunakan untuk bahan pengembang yang bisa menjadikan bata ringan mengembang. Prinsip kerja serbuk aluminium ini mirip dengan pembuatan roti yang diisi dengan ragi supaya adonan tersebut mengembang. Pengerasan atau yang biasa dikenal dengan *Autoclave* dilakukan dengan memasukkan kedalam ruang bertekanan pada saat bersuhu tinggi. Hal ini yang mempengaruhi teknologi ini jadi sangat mahal dan tidak mungkin diproduksi untuk skala kecil dan menengah (Aditya, 2017).

Bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) merupakan beton selular (berpori) dengan melalui proses *curing* yang alamiah. Busa organik yang digunakan dalam prosesnya sangatlah stabil, dan dalam proses pencampuran adonan tidak terdapatnya reaksi kimia. Fungsi busa organik ini untuk

membungkus udara sebagai medianya (Hunggurami, 2014). Kelebihan bata ini menurut (Taufik, 2017), yaitu: suara yang baik dan memberikan penghambat panas, walaupun terkena air tambahan, bentuknya tetap stabil, bahan pembuatannya hanya membutuhkan semen sehingga menguntungkan daerah terpencil, adanya kemudahan dalam pengompaan disaat pengecoran dikarenakan tidak terdapatnya agregat.

2.5.1. Keunggulan dan Kekurangan Bata Ringan

Bata ringan ini memiliki sejumlah keunggulan, yaitu (Taufik, 2017):

1. Memiliki bobot yang lebih ringan dan tingkat kekuatannya lebih tinggi.

Jenis beton pracetak ini mempunyai bobot yang lebih ringan dan tingkat kekuatannya pun lebih tinggi sehingga strukturnya tidak terbebani. Bangunan yang dihasilkan dari bata ringan jenis CLC ini lebih tahan dari guncangan akibat gempa bumi.

2. Pengangkutan material bata ringan bisa lebih cepat.

Karena bata ini memiliki bobot yang lebih rendah, pengangkutan bata ini pun jadi lebih mudah.

3. Mempunyai sisi yang lebih presisi dan ukuran dan bentuknya seragam.

Bata ringan ini dibentuk dengan dicetak satu persatu, sehingga ukuran dan bentuknya seragam.

4. Lebih cepat pemasangannya.

Berhubungan bentuknya presisi, jadi mortar atau perekat instan bisa digunakan sebagai pemasangan sehingga bisa dikerjakan secara mudah dan cepat, efisien dalam harganya.

5. Bentuknya rapi dan bersih.

Biasanya untuk pemasangan bata merah perlu adanya campuran mortar yang terbuat dari pasir dan semen, untuk pemasangan hebel block ini hanya menggunakan semen instan dengan sedikit campuran air, sehingga permukaan dinding lebih bersih, praktis dan menghindari noda pasir yang berceceran.

6. Tidak membutuhkan plesteran/tidak membutuhkan plesteran yang tebal.

Mempunyai karakteristik yang sangat halus untuk bentuk bata ringan ini. Karena hal tersebut tidak dibutuhkan plesteran untuk bata ringan ini karena untuk tampilan bata ringannya sudah terpasang sendirinya dan terlihat lebih rapi. Tapi untuk menambah keestetikaannya dan melindungi material dinding dari rembesan air hujan dan cuaca buruk, sebaiknya plesteran tetap dilakukan.

7. Lebih cepat dalam pengerjaannya.

Memiliki ukuran bata ringan persatuannya lebih besar kemudian lebih cepat dalam proses pengerjaan bangunannya dari pada memakai bata merah dengan ukuran yang lebih kecil.

8. Susah terbakar.

Bata ringan AAC tergabung kedalam campuran beton yang tahan terhadap suhu tinggi, kemudian tahan api untuk bata ringan ini. Jika terjadi bencana kebakaran, bangunan yang dihasilkan pun menjadi lebih sulit terbakar. Area yang terbakar otomatis akan terbatas dan tidak merambat keseluruhan rumah atau bangunan.

9. Tingkat kedap suaranya lebih tinggi dan kebal air.

Jenis beton pracetak ini lebih kedap suara karena adanya rongga-rongga udara didalam material bata ringan. Rumah akan lebih tahan terhadap cuaca hujan yang lembab dikarenakan bata yang dibuat dipabrik ini diklaim lebih kedap air.

Tidak hanya mempunyai kelebihan, bata ringan juga memiliki sejumlah kelemahan, yaitu (Taufik, 2017):

1. Lebih mahal harganya.

Bata ringan dipatok dengan harga yang lebih mahal ketimbang bata merah dan batako konvensional karena disebabkan oleh segala kualitas dan keunggulan dari bata ringan ini.

2. Dalam pemasangannya dibutuhkan orang yang mempunyai pengalaman.

Proses memasang bata *hebel* ini tidak sama dengan proses pemasangan bata biasa. Roskam bergigi digunakan sebagai roskamnya. Karenanya, tukang yang lebih ahli dan berpengalaman sangat dibutuhkan dalam pemasangan bata *hebel* ini.

3. Bata ini biasanya cuma dijual ditoko/distributor besar.

Bata ringan hanya bisa ditemui di toko distributor besar atau di *department store* bahan bangunan saja sampai saat ini. Pemborong atau kontraktor biasanya yang membeli bata dipenjual biasa harus beralih ke toko besar.

4. Perekat khusus yang lebih mahal dibutuhkan dalam pemasangan.

Dalam pemasangan bata ringan diperlukan perekat dengan jenis berbeda, yaitu semen instan dan mortar. Tentu saja harganya akan lebih mahal dibanding harga mortar biasa yang menggunakan campuran semen dan pasir.

5. Proses pengeringan lebih lama.

Proses pengeringan bata ringan yang sudah terpasang membutuhkan waktu yang lebih lama ketika bata ringan ini sampai terlalu basah akibat hujan.

2.5.2. Bahan Penyusun Bata Ringan

Dalam penelitian ini, bahan dasar pembentuk bata ringan yang digunakan terdiri dari semen, pasir, air, *foam* dan sampah plastik. Penggabungan bahan-bahan diatas didapatkan hasil adukan yang mudah dicetak, dengan adanya hidrasi semen oleh air menyebabkan adukan mengeras, dan memiliki kekuatan untuk menahan beban. Pada umumnya susunan pada batu bata tersusun dari dua material yaitu material *binder* (bahan pengikat) dan material *filler* (bahan pengisi). Bahan pengikat tersebut terdiri dari semen dan air, saat semen akan terhidrasi oleh air dan mengakibatkan pengikatan agregat halus sedangkan untuk bahan pengisi yaitu terdiri dari pasir dalam batu bata. *Foam agent* digunakan sebagai bahan tambahan dalam memperbesar volume bata guna mengurangi bobot bata ringan. Sampah plastik yang berjenis *polypropylene* digunakan sebagai bahan pengisi yang berfungsi untuk memperkuat struktur pada batu bata ringan.

2.4.2.1 Semen Portland Composite (PCC)

Bahan pengikat yang mempunyai senyawa atau zat pengikat hidrolis merupakan pengertian dari semen. Zat yang terkandung dalam pengikat dari semen yaitu berupa senyawa kalsium silikat hidrat atau C-S-H yang reaktif jika diisi dengan air kemudian bisa mengikat agregat kasar, untuk membentuk massa padat dan keras diperlukan agregat halus dan bahan tambah lainnya (Putra, 2020).

Semen mempunyai sejumlah jenis/tipe, salah satunya *Portland Composite Cement* (PCC). Penggilangan bubuk semen *Portland* ditambah campuran anorganik lain dengan mempunyai karakteristik pozzolan, didalamnya terkandung silikat tinggi, terkandung kapur dan slag yang didapatkan dari hasil pembakaran biji besi, merupakan proses untuk menghasilkan semen komposit. Kemudian bahannya ditambahkan ke semen sejumlah 6-35% dari bobot semen berdasarkan SNI 15-7064-2004 (Indonesia, 2004). Penambahan bahan tersebut dalam semen PCC memiliki tujuan agar mutunya mengalami peningkatan, waktu pengerasannya lebih cepat, agar mempermudah pengerjaannya, menyebabkan porositas menurun dan menaikkan kekebalan terhadap zat perusak yang terdapat dilingkungan agresif. Dalam penggunaannya bisa menggunakan mineral berupa material reaktif bila dicampur air, material pozzolanik dan perpaduan dari kedua tipe material reaktif dan material pozzolanik (Mulyono, 2007).

Semen *portland* terbagi kedalam lima tipe berdasarkan komposisi kandungan dalam semen, antara lain (Taufik, 2017):

1. Tipe I, secara luas untuk pemakaian semen *portland* tipe ini tidak memakai syarat khusus seperti pada tipe yang lain.
2. Tipe II, dibutuhkan ketahanan akan sulfat dari panas hidrasi menengah dalam pemakaian semen *portland* tipe ini.
3. Tipe III, adanya tuntutan untuk syarat kekuatan diawal yang tinggi setelah terjadi pengikatan dalam pemakaian semen *portland* tipe ini.
4. Tipe IV, adanya tuntutan syarat panas hidrasi rendah dalam pemakaian semen *portland*.
5. Tipe V, adanya tuntutan syarat sangat tahan akan sulfat dalam pemakaian semen *portland*.

Semen tipe I *Ordinary Portland Cement* (OPC) biasanya diganti dengan semen PCC dalam pengerjaan bata ringan, pemasangan bata, dan bangunan yang membutuhkan durabilitas tinggi dilingkungan agresif dan ketahanan. Pemakaian Semen PCC membuat beton lebih bertahan ataupun dalam lingkungan air laut, asam atau sulfat mortarnya lebih baik dari semen OPC. Produk hidrasi semen ketika bertemu material tambahan dalam semen akan mengalami reaktif,

maka reaksi pozzolanik atau reaksi tambahan menghasilkan silikat tambahan yang berguna menaikkan kekedapan bata dan kekuatan bata. Maka dari sebab itu untuk bangunan dilingkungan agresif banyak direkomendasikan semen PCC (Susanto, 2019).

2.4.2.2 Pasir

Pasir didefinisikan sebagai suatu material bangunan yang didapatkan dengan melakukan penggalian atau pengambilan dari lapisan tanah pembentuk kerak bumi (*soil*) yang mempunyai bentuk butiran, lepas tidak terementasi sifatnya (Oktaviani, 2019).

Pada asalnya, pasir alam digolongkan menjadi tiga jenis yaitu:

a. Pasir Galian

Pasir ini didapatkan dengan cara melakukan galian tanah atau mengambil langsung dari permukaannya. Berbutir tajam, memiliki sudut, mempunyai pori dan tidak terkandung garam yang membahayakan merupakan jenis dari pasir galian. Didalam pasir ini sering tercampur kotoran atau tanah yang disebabkan karena pasir ini didapatkan dari melakukan penggalian, kemudian sebelum digunakan harus dicuci terlebih dahulu.

b. Pasir Sungai

Pasir sungai didapatkan dengan mengambil didasar sungai, kemudian biasanya mempunyai bentuk bulat yang diakibatkan gesekan dan mempunyai butir yang halus. Dengan bentuknya berbutir halus sehingga baik digunakan sebagai plasteran tembok, dan untuk daya rekatnya menjadi kurang baik dikarenakan pasir ini butirannya berbentuk bulat.

c. Pasir Laut

Pasir ini dapat diambil langsung dari pantai. Memiliki wujud butirannya halus dan bulat yang disebabkan gesekan. Terdapat banyak kandungan garam didalam pasir ini yang menyebabkan kurang baik buat bahan bangunan. Pasir dengan kandungan garam akan menyerap air yang terkandung diudara, kemudian pasir ini terasa lembab dan berpengaruh pada bangunan yang telah selesai

dibangun akan terjadi pengembangan. Maka dari itu, untuk bahan bangunan tidak menggunakan pasir jenis ini.

Adapun pasir yang dipakai sebagai bahan pembuatan beton ringan ialah pasir yang lolos ayakan (standar ASTM E 11-70) pada ukurannya lebih kecil dari 5 mm. Manfaatnya agar menghindari dari keretakan dibeton jika sudah mengering. Jika penggunaannya dalam jumlah yang banyak dapat terjadinya kerapuhan. Fungsi dari sifat pasir ini hanya sebagai pengisi dan tidak merekat. Pasir yang berasal dari sungai merupakan pasir terbaik karena tidak adanya kandungan tanah lempung yang mengakibatkan retak-retak dan wajib memenuhi spesifikasi ASTM yang telah ditentukan sebagai berikut (Oktaviani, 2019):

- a) Susunan butiran (*gradasi*).
- b) Modulus kehalusan (*fineness modulus*) mempunyai kisaran 2,5 s/d 3,0 pada keseluruhan memperoleh mutu tinggi pada beton (fas yang rendah) yang tahan terhadap tekanan dan *workability*nya optimal.
- c) Kadar lumpur.
- d) Bila ada bagian dipasir memiliki ukuran lebih kecil dari 75 mikron atau lolos ayakan No. 200 melebihi 5% (terhadap bobot keringnya), lalu agregatnya harus dicuci.
- e) Untuk kadar liatnya tidak dibolehkan melebihi 1% (pada bobot kering)
- f) Pada agregat halusnya tidak boleh terdapat pengotoran zat.

Dalam penelitian ini untuk ayakan yang digunakan ayakan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari 5 mm dan pasir yang digunakan pasir sungai karena mempunyai bentuk butiran yang halus.

2.4.2.3 Air

Air berperan penting sebagai bahan dari pembuatan beton yang memiliki harga paling murah. Air dibutuhkan untuk bereaksi dengan semen kemudian terjadi reaksi kimia yang mengakibatkan pengikatan dan proses pengerasan pada bata berlangsung, serta sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat supaya mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi terhadap semen, air yang dibutuhkan sebanyak 25% dari berat semen (Tjokrodimuljo, 1996).

Air yang digunakan dalam pembuatan bata ringan harus memenuhi persyaratan, sebagai berikut:

- Harus bersih airnya.
- Didalam air tidak terdapat kandungan minyak, lumpur dan tidak terdapatnya benda yang bisa dilihat langsung oleh indra penglihatan. Tidak boleh lebih dari 2 gram untuk benda-benda ini.
- Air tidak terdapat kandungan yang bisa larut mengandung garam-garam dan asam karena bisa merusak beton, harus lebih dari 15 gram/liter untuk zat organik dan lainnya.
- Kandungan khlorida (C1) tidak boleh melebihi 0,5 gram/liter. Tidak boleh melebihi 0,05 gram/liter berlaku khusus untuk beton prategang.
- Tidak terdapatnya kandungan senyawa sulfat sebagai SO₃ melebihi dari 1 gram/liter.

Faktor-faktor yang mempengaruhi air yang diperlukan, yaitu:

- 1) Agregatnya berukuran maksimum: pembesaran pada diameter dan menurunkan penggunaan air.
- 2) Untuk bentuk butiran: berbentuk bulat, jadi menurunkan penggunaan air (perlu banyak air supaya batu pecah).
- 3) Gradasi agregat: untuk gradasi baik, untuk kecekan yang sama dalam penggunaan airnya menurun.
- 4) Kotoran diagregat: semakin meningkatnya *silt*, lumpur dan tanah liat, jadi meningkatkan dalam penggunaan air.
- 5) Jumlah agregat halus (perbandingan agregat kasar): bila lebih sedikit untuk jumlah agregat halus jadi menurunkan penggunaan air (Setyowati M. , 2019).

Untuk penelitian ini, air yang digunakan adalah air yang berada di laboratorium Material Politeknik Negeri Bangka Belitung.

2.4.2.4 Foam

Foam agent atau *foaming agent* ialah cairan pekat surfaktan, dalam penggunaan *foam agent* harus dilarutkan dengan air kemudian lakukan

pengadukan secara terus-menerus hingga mendapatkan hasil busa. Zat yang telah terkonsentrasi dalam antar muka lalu mengaktifkan antar muka tersebut merupakan pengertian surfaktan. Jadi *foam* merupakan campuran bahan yang menghasilkan busa untuk dicampurkan pada bata ringan agar didapatkan rongga udara menggunakan bahan protein *hydrolyzed*. Supaya menghasilkan gelembung udara pada *foam* biasanya dilakukan secara buatan dan alami. Untuk buatan biasanya dipakai bahan *synthetic* yang nilai kepadatannya bisa mencapai 40 gram/liter, sedangkan secara alami mempunyai kepadatan protein hingga mencapai 80 gram/liter (Prayitno, 2021).

2.4.2.5 Sampah Plastik

Di kota-kota besar di Indonesia, sampah sering kali menjadi masalah yang serius. Menurut SNI 19-2454-2002, sampah harus dikelola agar tidak merusak lingkungan dan melindungi investasi pembangunan. Untuk dapat mengelola sampah dengan baik, perlu dipahami lebih jauh pengertian sampah dan tata cara pengelolaan sampah yang baik (Al Faruqi, 2019).

Keperluan plastik di Indonesia sangatlah meningkat pesat dengan kenaikan rata-rata mencapai 200 ton per tahun. Peningkatan penggunaan plastik mengakibatkan bertambahnya pula sampah plastik berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). Masyarakat Indonesia setiap harinya menghasilkan 0,8 kg sampah setiap orangnya yang secara menyeluruh sebanyak 189 ribu ton sampah/harinya. Dari hasil tersebut 15% yang dihasilkan ialah sampah plastik atau sebanyak 28,4 ribu ton sampah plastik/hari (Fahlevi, 2012).

Dibandingkan bahan lain, plastik memiliki keunggulan lebih kuat, ringan, tahan karat, tidak mudah pecah, mudah diwarnai, mudah dibentuk, serta isolator termal dan listrik yang baik. Namun, plastik yang sudah menjadi sampah berdampak negatif bagi lingkungan karena tidak bisa cepat terurai dan mengurangi kesuburan tanah. Sampah plastik yang tidak ditangani dengan baik juga dapat menyumbat saluran drainase, parit dan sungai sehingga menyebabkan banjir. Pembakaran sampah plastik melepaskan zat berbahaya bagi kesehatan manusia.

Sejauh ini, metode pembuangan sampah plastik yang paling populer adalah 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*). *Reuse* adalah penggunaan kembali barang-barang yang berbahan dasar plastik. *Reduce* adalah mengurangi pemakaian atau pembelian barang-barang produk plastik, terutama produk sekali pakai. *Recycle* adalah membuat kembali produk yang berbahan plastik. Daur ulang adalah pengolahan kembali komoditas yang tidak lagi bernilai ekonomis melalui proses fisik atau kimia atau kombinasi keduanya, sehingga diperoleh produk yang dapat digunakan kembali atau diperdagangkan.

Masing-masing pengolahan sampah diatas memiliki kelemahan. Kelemahan dari *reuse* adalah barang-barang berbahan dasar plastik, misalnya kantong plastik, tidak akan layak pakai jika digunakan berkali-kali. Selain itu, jenis plastik tertentu tidak baik untuk kesehatan jika digunakan berulang kali. Kelemahan dari *reduce* adalah harus ada alternatif plastik yang lebih murah dan praktis. Untuk kelemahan *recycle* sendiri ketika plastik ini didaur ulang maka kualitasnya akan menurun (Kumar, 2011).

Penelitian ini memanfaatkan sampah plastik jenis *polypropylene*. Plastik jenis ini mempunyai kepadatan paling rendah diantara plastik komoditas lainnya. Kelebihan dari plastik *polypropylene*, yaitu:

- Memiliki tingkat ketahanan kimia yang sangat baik
- Bisa diproses melalui banyak metode konversi misalnya pencetakan injeksi dan ekstrusi

Polypropylene merupakan polimer yang dibikin secara katalis dari propilena. Plastik jenis *polypropylene* merupakan bahan yang tidak berwarna mempunyai sifat mekanik yang sangat baik dan lebih baik dari *polietilen* berdasarkan alasan yang telah dijelaskan sebelumnya (Wicaksono, 2019).

Pencampuran bahan tambahan ke dalam pembuatan bata ringan bertujuan menaikkan kualitas bata ringan. Didalam penelitian ini menggunakan bahan campuran seperti sampah plastik dan *foam agent*. Penambahan sampah plastik ini bertujuan untuk:

- a. Agar kuat tariknya bertambah, dikarenakan untuk bata ringan ini sendiri dalam tingkat kekuatan tariknya masih rendah.

- b. Supaya daktilits nya bertambah, bata ringan termasuk bahan yang getas, maka dibutuhkan pencampuran dengan bahan campuran untuk mengatasinya.
- c. Agar bata ringan tahan terhadap keretakan.

2.5.3. Sifat Mekanik Batu Bata

Dilakukannya pengujian dan analisis yaitu bertujuan untuk mengetahui sifat dan kemampuan suatu material bata ringan. Dibawah ini jenis-jenis pengujian dan analisis yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Daya serap air

Kemampuan material untuk menyerap air (daya hisap) merupakan definisi dari daya serap air. Perbandingan bobot dengan keadaan kering terhadap berat dengan kondisi setelah perendaman air adalah bobot isi. Dampak pengaruh ketika daya serap airnya tinggi mengakibatkan pada pemasangan batu bata ringan dan adukan karena batu bata bisa menyerap air yang terdapat di adukan hingga menyebabkan tidak berfungsinya pengeras adukan dan bisa menyebabkan kuat adukannya jadi tidak kuat. Besarnya kadar pori pada bata (bata tidak padat) menjadi penyebab daya serap tinggi (Nugroho, 2019).

Penyerapan air paling tinggi bata merah pejal untuk 28 pasangan adalah 20% menurut standar yang di syaratkan pada SNI-15-2094-2000. Untuk melakukan perhitungan daya serap air dapat dilakukan dengan persamaan:

$$\text{Penyerapan} = \frac{(Mb - Mk)}{Mk} \times 100\% \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan:

Mb = Massa setelah perendaman (gr)

Mk = Massa sebelum penjemuran (gr)

2. Daya Serap Panas

Dinding yang bisa mengurangi panas sampai tidak menyebabkan efek panas pada interior bangunan dan lingkungan merupakan definisi dari dinding serap. Fungsi dari dinding serap ini ialah jadi sebuah *reduktor* panas yang hingga permukaan bagian dan bisa memperlambat panas masuk ke dalam bangunan.

Tekstur permukaan ini sendiri bisa mempengaruhi serapan dan pemantulan (Anambyah, 2010).

Daya serap panas ini menggunakan prinsip kerja dengan cara sampel batu bata ringan dimasukkan kedalam mesin oven, kemudian diberi temperatur tertentu dengan menggunakan waktu yang ditentukan, setelah mencapai waktu pengovenan yang ditentukan, selanjutnya mengukur suhu pada bagian permukaan sampel bata ringan dengan menggunakan alat uji thermogun.

3. Uji Kuat Tekan

Besaran beban persatuan luas yang mengakibatkan suatu material akan hancur jika diisi beban menggunakan gaya tekan tertentu merupakan pengertian dari kuat tekan. Untuk mengukur kuat tekan dapat dilakukan dengan data yang didapatkan dari mesin uji dimasukkan kedalam kurva tegangan-regangan. Sejumlah bahan terdapat deformasi yang tidak bisa dikembalikan, dan sejumlah bahan mengalami patahan pada batas tekan. Ada juga deformasi yang termasuk dalam batas kekuatan tekan, walaupun keseluruhannya belum mengalami patahan, yang pertama dibahan yang tidak bisa dikembalikan pada bentuk semula (*irreversible*). Kunci dalam mendesain sebuah struktur harus mengetahui pengetahuan tentang kekuatan tekan.

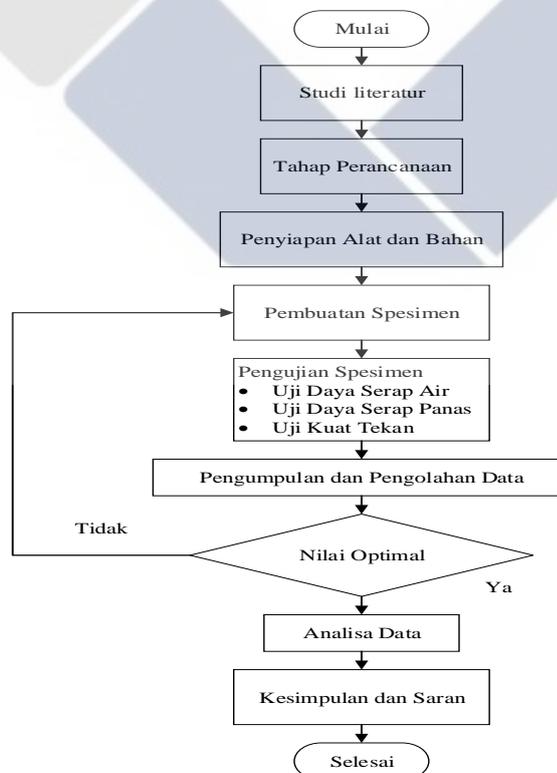
Pemeriksaan uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan kuat tekan pada bata ringan, mesin uji tekan digunakan untuk mengukur kekuatan tekan pada sampel bata ringan. Dalam proses mesin uji tekan, dilakukan dengan meletakkan sampel batu bata ringan dan sampel batu bata ringan tersebut diisi dengan beban sampai bendanya hancur disaat beban tersebut bekerja dengan maksimum. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan dapat dilakukan dengan penghitungan matematis (Setiawan, 2018).

BAB III

METODE PELAKSANAAN

3.1. Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan atas beberapa tahap, dimulai dari penentuan studi literatur, tahap perencanaan, penyiapan alat dan bahan, pembuatan spesimen, pengujian spesimen, pengumpulan dan pengolahan data, analisis data, kesimpulan dan saran. Setelah dilakukan pengujian dan didapatkan hasil karakteristik maksimum maka dilanjutkan dengan pembuatan sampel untuk mendapatkan nilai daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan bata ringan. Setelah didapatkan hasil keseluruhan data selanjutnya diolah menggunakan kombinasi metode taguchi dengan *Grey Relational Analysis* dan diambil beberapa kesimpulan. Proses selengkapny dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram Penelitian

3.2. Studi Literatur

Studi Literatur berisi informasi-informasi terkait dengan penelitian. Adapun informasi-informasi tersebut:

Penulis menggunakan teori Taguchi yang ditulis oleh Irwan Soejanto yang berjudul Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi dan untuk teori *Grey Relational Analysis* dipelajari dari artikel yang ditulis oleh Novi Dwijayanti yang berjudul Optimasi Multirespon Gaya Tekan, Torsi, Keasaran Tepi Pahat Dan Kekasaran Permukaan Pada Proses Gurdi Untuk Material EMS-45 Dengan Menggunakan Metode Taguchi-GRA.

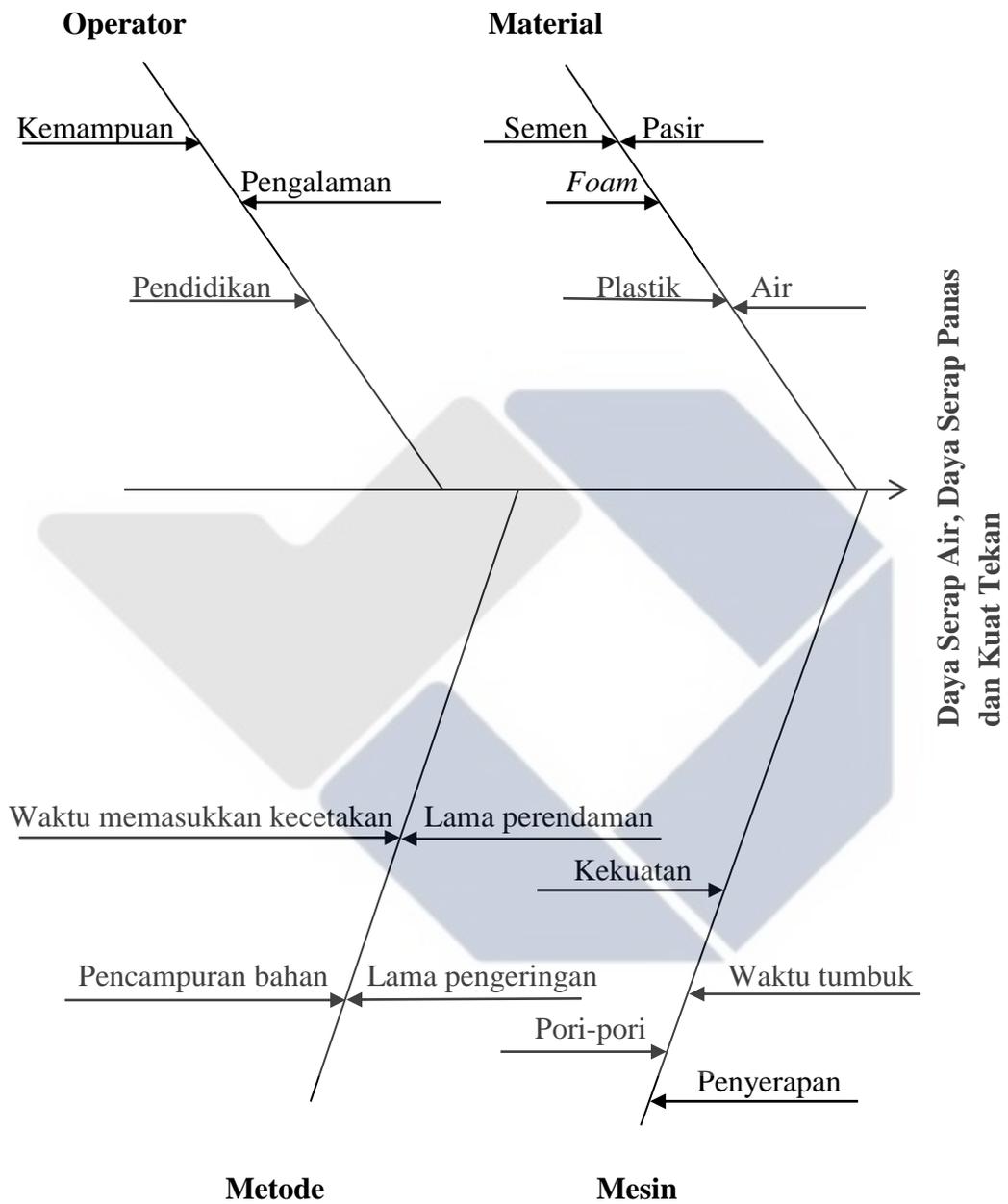
Penelitian sebelumnya untuk pengujian daya serap air telah dilakukan oleh Dandy Nugroho, Akhmad Andi Saputra dan Kuswoyo dalam jurnal penelitian Pengaruh Campuran Abu Sekam Padi Terhadap Kualitas Bata Merah di Desa Tegalombo, Kecamatan Dukuhseti, Kabupaten Pati. Pada pengujian daya serap panas telah dilakukan oleh Slamet Anambyah dan Endang Setyowati dalam penelitian Pengaruh Pewarnaan Beton Cetak Pada Dinding Serap Sebagai Selubung Bangunan Tinggi. Sedangkan untuk pengujian kuat tekan dilakukan oleh Risandy Bayu Setiawan telah melakukan uji kekuatan tekan dalam penelitian yang berjudul Analisis Pembentukan Fasa dan Kuat Tekan Bata Ringan *Aerated Autoclaved Concrete* (AAC) Dengan Menggunakan Variasi Komposisi Si, Ca, Al. Kemudian untuk pengujian SEM telah dilakukan oleh Hendra Taufik, Alex Kurniawandy dan Deri Arita dalam penelitian Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah *Foaming Agent*.

Semua studi literatur diatas digunakan sebagai bahan teori pendukung dalam penelitian ini.

3.3. Tahap Perencanaan

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen Taguchi - *Grey Relational Analysis*. Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel bebas disebut faktor. Faktor A yaitu fraksi *foam agent* 8% dan 4%, faktor plastik 4,5%, 3% dan 1,5% dari berat pasir dan fraksi semen 24,5%, 30% dan 35,5% dari berat pasir dengan perlakuan tiga respon. Serta terdapat variabel kontrol yaitu komposisi pasir dan air 5 (250 g) : 1 (50 g).

3.3.1 Identifikasi Faktor (Variabel Bebas)



Gambar 3.2 Diagram Ishikawa (Soejanto, 2009)

3.3.2 Variabel Respon

Variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan bata ringan. Karakteristik kualitasnya semakin

kecil semakin baik (*smaller is better*) dan semakin besar, maka semakin baik (*large the better*). Karakteristik semakin kecil semakin baik dipakai untuk respon daya serap air dan daya serap panas, sedangkan untuk karakteristik semakin besar semakin baik digunakan untuk respon kuat tekan.

3.3.3 Penentuan Jumlah Level dan Angka Level Variabel Proses

Penentuan jumlah level dan angka level variabel proses akan ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Penetapan Jumlah Level dan Angka Level Variabel Proses

| Kode | Faktor Kontrol | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|------|-------------------|---------|---------|---------|
| A | <i>Foam agent</i> | 8 % | 4 % | - |
| B | Plastik | 4,5 % | 3 % | 1,5 % |
| C | Semen | 24,5 % | 30 % | 35,5 % |

3.3.4 Penghitungan Derajat Kebebasan

Berdasarkan banyak variabel proses dan jumlah levelnya yang ada pada Tabel 3.1, perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan matriks ortogonal yang digunakan. Hasil perhitungan derajat kebebasan ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Penghitungan Derajat Kebebasan Total

| Faktor | Derajat Kebebasan | Total |
|-------------------------|-------------------|-------|
| <i>Foam agent</i> | (2 – 1) | 1 |
| Plastik | (3 – 1) | 2 |
| Semen | (3 – 1) | 2 |
| Total Derajat Kebebasan | | 5 |

3.3.5 Penentuan Matriks Ortogonal

Pada penelitian ini didapatkan penghitungan derajat kebebasan $V_{fl} = 5$ derajat kebebasan dengan level campuran. Terdapat satu faktor yang memiliki dua level dan dua faktor yang memiliki tiga level seperti ditunjukkan Tabel 3.2, sehingga matriks ortogonal yang digunakan adalah $L_{18} = (2^1 \times 3^2)$. Rancangan L_{18} memiliki 3 kolom dan 18 baris. Rancangan percobaan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Matriks Ortogonal L₁₈ dan Replikasi

| Ekspe rimen | Kode variabel | | | Variabel Asli | | | Replikasi 1 | | | Replikasi 2 | | |
|----------------|------------------|---|---|-----------------------|---------|-------|-----------------------|---------|-------|-----------------------|---------|-------|
| | A | B | C | <i>Foam Agent</i> | Plastik | Semen | <i>Foam Agent</i> | Plastik | Semen | <i>Foam Agent</i> | Plastik | Semen |
| | | | | (A) | (B) | (C) | (A) | (B) | (C) | (A) | (B) | (C) |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 8% | 4, % | 24,5% | 8% | 4,5% | 24,5% | 8% | 4,5% | 24,5% |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 8% | 4,5% | 30% | 8% | 4,5% | 30% | 8% | 4,5% | 30% |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 8% | 4,5% | 35,5% | 8% | 4,5% | 35,5% | 8% | 4,5% | 35,5% |
| 4 | 1 | 2 | 1 | 8% | 3% | 24,5% | 8% | 3% | 24,5% | 8% | 3% | 24,5% |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 8% | 3% | 30% | 8% | 3% | 30% | 8% | 3% | 30% |
| 6 | 1 | 2 | 3 | 8% | 3% | 35,5% | 8% | 3% | 35,5% | 8% | 3% | 35,5% |
| 7 | 1 | 3 | 1 | 8% | 1,5% | 24,5% | 8% | 1,5% | 24,5% | 8% | 1,5% | 24,5% |
| 8 | 1 | 3 | 2 | 8% | 1,5% | 30% | 8% | 1,5% | 30% | 8% | 1,5% | 30% |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 8% | 1,5% | 35,5% | 8% | 1,5% | 35,5% | 8% | 1,5% | 35,5% |
| 10 | 2 | 1 | 1 | 4% | 4,5% | 24,5% | 4% | 4,5% | 24,5% | 4% | 4,5% | 24,5% |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 4% | 4,5% | 30% | 4% | 4,5% | 30% | 4% | 4,5% | 30% |
| 12 | 2 | 1 | 3 | 4% | 4,5% | 35,5% | 4% | 4,5% | 35,5% | 4% | 4,5% | 35,5% |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 4% | 3% | 24,5% | 4% | 3% | 24,5% | 4% | 3% | 24,5% |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 4% | 3% | 30% | 4% | 3% | 30% | 4% | 3% | 30% |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 4% | 3% | 35,5% | 4% | 3% | 35,5% | 4% | 3% | 35,5% |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 4% | 1,5% | 24,5% | 4% | 1,5% | 24,5% | 4% | 1,5% | 24,5% |
| 17 | 2 | 3 | 2 | 4% | 1,5% | 30% | 4% | 1,5% | 30% | 4% | 1,5% | 30% |
| 18 | 2 | 3 | 3 | 4% | 1,5% | 35,5% | 4% | 1,5% | 35,5% | 4% | 1,5% | 35,5% |

3.4. Persiapan Alat dan Bahan

3.4.1. Alat Penelitian

Untuk alat-alat yang digunakan dalam proses penelitian ini diantaranya yaitu:

- a. Cetakan bata ringan

Cetakan digunakan untuk pembuatan bata ringan. Ukuran cetakan yang digunakan dalam penelitian ini dengan ukuran panjang 5 cm, lebar 5, tinggi 10 sebagai cetakan bata ringan untuk sampel uji daya serap air dan uji daya serap panas. Cetakan yang digunakan seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Cetakan bata ringan

b. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat pasir, semen dan sampah plastik yang dicampurkan sesuai dengan rasio volumenya. Timbangan digital yang digunakan adalah timbangan digital WH-A08 merek Lesindo. Spesifikasinya adalah kapasitas maksimum 500g, ketelitian 1g. Timbangan digital yang digunakan seperti di Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Timbangan digital

c. *Infrared Thermometer Krisbow KW06-304*

Infrared Thermometer Krisbow KW06-304 digunakan untuk mengukur suhu permukaan bata ringan. *Infrared Thermometer* yang digunakan seperti Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Infrared Thermometer Krisbow KW06-304*

d. Adukan/Mixer

Adukan/Mixer digunakan untuk mengaduk semua bahan. Adukan/Mixer yang digunakan seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Adukan/Mixer

e. Ember

Ember digunakan sebagai wadah untuk mengaduk pencampuran bahan bata ringan. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan ember bekas cat tembok. Ember yang digunakan seperti Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Ember

f. Saringan/Ayakan pasir

Saringan atau ayakan berfungsi sebagai alat untuk menyaring pasir, untuk ukuran lubang ayakan kurang dari 5 mm. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan saringan dengan ukuran panjang 1 meter dan lebar 1 meter.

g. Cangkul

Cangkul dimanfaatkan sebagai alat bantu untuk mengayak pasir. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan cangkul dengan ukuran mata cangkul panjang 20 cm dan lebar 15 cm.

3.4.2. Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan bahan-bahan sebagai berikut:

a. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini peneliti menggunakan semen *Portland Pozolan Cement (PPC)* tipe I yang bermerek merah putih. Semen yang digunakan seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Semen

b. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pasir sungai yang berwarna keabuan dimanfaatkan dalam penelitian ini karena pasir sungai mempunyai bentuk butiran yang halus biasanya pasir ini dijual di toko bangunan dan mempunyai warna yang keabuan. Pasir yang digunakan seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Pasir

c. Air

Dalam penelitian ini air yang digunakan air yang berada di laboratorium Material Politeknik Negeri Bangka Belitung.

d. *Foam agent*

Foam agent yang digunakan dalam penelitian ini peneliti menggunakan *foam agent* yang berjenis AKS. *Foam agent* berfungsi sebagai busa organik yang membungkus udara, sehingga menghasilkan pori yang menjadikan bata lebih ringan. *Foam agent* yang digunakan seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Foam Agent*

e. Sampah plastik

Dalam penelitian ini sampah plastik yang digunakan berjenis gelas aqua berbahan *polypropylene*, sampah plastik dipotong dengan ukuran acak. Sampah plastik yang digunakan seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Gelas aqua yang sudah dicacah

3.5. Pembuatan Sampel Bahan Uji

Teknik pembuatan sampel dilakukan dalam beberapa tahap di antaranya:

1. Tahap penimbangan bahan

Penimbangan bahan ini menggunakan timbangan digital dengan variasi persentase yang telah ditentukan pada bata ringan.

2. Tahap pembuatan dan pencetakan sampel bata ringan

Berikut ini langkah dalam tahap pengadukan campurannya:

- a. Tuangkan air kedalam ember.
- b. Tuangkan semen ke dalam ember yang sudah terisi air tadi, lakukan pengadukan hingga air dan semennya bercampur dengan merata.
- c. Campurkan material pasir ke dalam ember, lakukan pengadukan hingga bahan material tercampur semua.

- d. Tuangkan *foam agent* (busa) hasil pencairan kedalam adukan pada ember, aduk hingga merata
 - e. Masukkan gelas aqua yang sudah dipotong-potong kedalam ember setelah itu dituangkan pada cetakan secara bertahap sampai rata penuh.
 - f. Setelah itu ratakan permukaan campurannya pada cetakan.
 - g. Buka cetakan setelah 1 hari.
3. Tahap pengujian sampel bata ringan

Tahap pengujian sampel bata ringan yang pertama adalah melakukan pengujian daya serap air, kemudian tahap kedua melakukan pengujian daya serap panas, selanjutnya tahap ketiga lakukan pengujian kekuatan/tekan bata ringan.

3.6. Prosedur Pengujian Sampel Bata Ringan

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

3.6.1. Uji Daya Serap Air



Gambar 3.12 Daya Serap Air

Prosedur pengujian daya serap air pada bata ringan atau *hebel* didapatkan dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Lakukan penimbangan sampel sebelum melakukan perendaman
2. Lakukan perendaman sampel selama 24 jam
3. Angkat sampel dan selanjutnya keringkan dengan kain
4. Lakukan penimbangan sampel setelah perendaman
5. Selanjutnya menentukan nilai daya serap air pada sampel bata ringan dapat diperoleh dari penghitungan dengan rumus persamaan (16) yang ada di bab 2

3.6.2. Daya Serap Panas



Gambar 3.13 Daya Serap Panas

Prosedur pengujian daya serap panas pada bata ringan didapatkan dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Lakukan pengukuran suhu pada permukaan sampel bata ringan menggunakan *thermometer*
2. Masukkan sampel ke dalam mesin oven yang masih suhu ruang
3. Atur suhu mesin oven dengan suhu 500°C dan atur waktu selama 30 menit
4. Keluarkan sampel, ukur kembali suhu permukaan sampel
5. Selanjutnya menentukan daya serap panas dengan cara suhu awal permukaan sampel, dikurangi suhu akhir selama 30 menit

3.6.3. Uji Kuat Tekan



Gambar 3.14 Kuat Tekan

Prosedur pengujian kuat tekan pada bata ringan didapatkan dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Letakkan penampang atau wadah ke mesin uji tekan
2. Masukkan sampel diatas penampang

3. Setting mesin uji kuat tekan menggunakan standar ISO 604
4. Setelah didapatkan nilai hasil dari mesin uji kuat tekan lakukan penghitungan untuk mengubah satuan dari MPa ke kg/cm^2

Suatu acuan penting yang menjadi syarat utama dalam menentukan kualitas suatu barang/benda adalah standarisasinya. Menurut SNI 03-0349-1989 kualitas bata ringan yang akan digunakan dalam proses pemasangan dinding harus memenuhi beberapa syarat fisik seperti karakteristik dari nilai kuat tekan dan nilai serapan airnya. Berikut ini syarat fisik dari bata ringan disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Persyaratan Fisik Bata Ringan (SNI 03 0349 1989)

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

3.7. Pengolahan dan Analisa Data

Dalam penelitian ini pengolahan dan analisa data menggunakan metode Taguchi dengan kombinasi *Grey Relational Analysis* terhadap daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengambilan Data

Eksperimen dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan rancangan penelitian Taguchi menggunakan matriks ortogonal L_{18} ($2^1 \times 3^2$). Variabel proses yang divariasikan dalam penelitian ini adalah *foam agent*, plastik dan semen. Ada tiga macam pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu pengujian daya serap air, pengujian daya serap panas, dan pengujian kuat tekan

Pada pengambilan data dalam penelitian ini, sampel yang digunakan sebanyak 18 sampel dengan 3 kali replikasi sehingga jumlah keseluruhan 54 sampel. Semua sampel dicetak sesuai dengan rancangan percobaan yang telah dibuat. Gambar 4.1 merupakan gambar sampel yang dibuat dalam penelitian ini. Semua sampel komposit ini diuji daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan.



Gambar 4.1 Sampel Komposit Bata Ringan

4.2. Perhitungan dan Analisa

Perhitungan dan analisa data dimulai dari perhitungan daya serap air, daya serap panas, kuat tekan dan optimasi mulirespon Taguchi-*Grey Relational Analysis* sebagai berikut.

4.2.1 Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan dengan melakukan penimbangan massa sebelum perendaman dan massa setelah perendaman. Gambar 4.2 adalah gambar sampel setelah dilakukan perendaman, sedangkan gambar sampel lengkap terdapat pada Lampiran 15.



Gambar 4.2 Sampel Bata Ringan Setelah Perendaman

Hasil penimbangan massa sebelum dilakukan perendaman dan setelah dilakukan perendaman ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai Hasil Penimbangan Massa Sampel Daya Serap Air

| Kode Sampel | Data Sebelum Perendaman | | | Data Setelah Perendaman | | |
|-------------|-------------------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|--------------|
| | Sampel A (%) | Sampel B (%) | Sampel C (%) | Sampel A (%) | Sampel B (%) | Sampel C (%) |
| 1. | 286,94 | 291,43 | 298,04 | 352,69 | 348,77 | 353,66 |
| 2. | 331,62 | 326,93 | 336,78 | 395,67 | 384,21 | 403,15 |
| 3. | 379,59 | 383,27 | 376,19 | 426,51 | 435,88 | 431,42 |
| 4. | 280,89 | 276,05 | 290,37 | 336,09 | 333,93 | 343,51 |
| 5. | 334,15 | 340,24 | 344,71 | 395,65 | 398,02 | 409,67 |
| 6. | 398,37 | 394,44 | 388,85 | 432,70 | 440,20 | 444,43 |
| 7. | 314,53 | 317,95 | 310,38 | 369,26 | 372,47 | 366,19 |
| 8. | 367,05 | 364,27 | 371,41 | 421,55 | 416,52 | 436,96 |
| 9. | 380,98 | 384,35 | 387,70 | 415,99 | 433,36 | 430,71 |
| 10. | 322,53 | 318,18 | 325,27 | 383,75 | 379,40 | 389,49 |
| 11. | 365,26 | 369,08 | 360,71 | 421,49 | 430,31 | 411,94 |
| 12. | 391,67 | 394,24 | 385,31 | 437,72 | 434,29 | 435,36 |
| 13. | 305,26 | 309,64 | 300,93 | 350,00 | 354,38 | 355,67 |
| 14. | 365,21 | 370,34 | 361,18 | 412,92 | 429,05 | 408,89 |
| 15. | 394,97 | 390,68 | 397,41 | 432,22 | 435,09 | 443,36 |
| 16. | 316,19 | 311,80 | 320,03 | 365,00 | 356,61 | 375,16 |
| 17. | 365,88 | 360,27 | 357,92 | 406,49 | 407,12 | 409,53 |
| 18. | 362,75 | 368,29 | 373,61 | 387,53 | 400,07 | 404,39 |

Nilai hasil penimbangan daya serap air pada Tabel 4.1 selanjutnya akan dihitung dengan rumus persamaan daya serap air.

Contoh untuk perhitungan nilai daya serap air berdasarkan pada Tabel 4.1 adalah sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan} = \frac{(387,53-362,75)}{362,75} \times 100\% = 6,831$$

Resume perhitungan nilai daya serap air ditampilkan pada Tabel 4.2, sedangkan perhitungan lengkap terdapat pada Lampiran 2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Daya Serap Air

| Kode Sampel | Komposisi | | | Nilai Daya Serap Air | | | Rata-rata (%) |
|-------------|------------|---------|--------|----------------------|--------------|--------------|---------------|
| | Foam Agent | Plastik | Semen | Sampel A (%) | Sampel B (%) | Sampel C (%) | |
| 1. | 8 % | 4,5 % | 24,5 % | 22,914 | 19,675 | 18,662 | 20,417 |
| 2. | 8 % | 4,5 % | 30 % | 19,314 | 17,521 | 19,707 | 18,847 |
| 3. | 8 % | 4,5 % | 35,5 % | 12,361 | 13,727 | 14,681 | 13,590 |
| 4. | 8 % | 3 % | 24,5 % | 19,652 | 20,967 | 18,301 | 19,640 |
| 5. | 8 % | 3 % | 30 % | 18,405 | 16,982 | 18,845 | 18,077 |
| 6. | 8 % | 3 % | 35,5 % | 8,618 | 11,601 | 14,293 | 11,504 |
| 7. | 8 % | 1,5 % | 24,5 % | 17,401 | 17,147 | 17,981 | 17,510 |
| 8. | 8 % | 1,5 % | 30 % | 14,848 | 14,344 | 17,649 | 15,614 |
| 9. | 8 % | 1,5 % | 35,5 % | 9,189 | 12,751 | 11,094 | 11,011 |
| 10. | 4 % | 4,5 % | 24,5 % | 18,981 | 19,241 | 19,744 | 19,322 |
| 11. | 4 % | 4,5 % | 30 % | 15,394 | 16,590 | 14,202 | 15,396 |
| 12. | 4 % | 4,5 % | 35,5 % | 11,757 | 10,159 | 12,989 | 11,635 |
| 13. | 4 % | 3 % | 24,5 % | 14,656 | 14,449 | 18,190 | 15,765 |
| 14. | 4 % | 3 % | 30 % | 13,064 | 15,853 | 13,209 | 14,042 |
| 15. | 4 % | 3 % | 35,5 % | 9,431 | 11,367 | 11,562 | 10,787 |
| 16. | 4 % | 1,5 % | 24,5 % | 15,437 | 14,371 | 17,226 | 15,678 |
| 17. | 4 % | 1,5 % | 30 % | 11,099 | 13,004 | 14,419 | 12,841 |
| 18. | 4 % | 1,5 % | 35,5 % | 6,831 | 8,629 | 8,238 | 7,900 |

4.2.2 Daya Serap Panas

Pengujian daya serap panas dilakukan pengovenan selama 30 menit dengan suhu 500°C. Setelah mencapai waktu yang ditentukan, kemudian dilakukan pengukuran permukaan sampel menggunakan *thermometer*.



Gambar 4.3 Gambar sampel bata ringan setelah dilakukan pengovenan

Setelah dilakukan pengovenan sampel bata ringan mengalami perubahan kenaikan suhu, dengan suhu awal 25,8°C menjadi suhu 261,0°C dalam waktu 30 menit.

Hasil pengovenan sampel bata ringan selama 30 menit dengan suhu 500°C ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengovenan Daya Serap Panas

| Hasil Pengovenan Daya Serap Panas | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|------|------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| No. | Suhu Awal | | | 10 Menit (°C) | | | 20 Menit (°C) | | | 30 Menit (°C) | | |
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 1. | 25,8 | 26,3 | 25,7 | 110,2 | 111,4 | 108,1 | 176,3 | 182,8 | 174,2 | 261,0 | 269,5 | 265,1 |
| 2. | 25,9 | 26,1 | 26,2 | 108,1 | 108,3 | 109,4 | 170,4 | 171,6 | 173,7 | 254,4 | 255,7 | 258,8 |
| 3. | 26,3 | 26,4 | 26,3 | 107,5 | 109,6 | 106,4 | 159,5 | 167,6 | 161,4 | 241,6 | 249,7 | 244,5 |
| 4. | 25,9 | 25,6 | 25,9 | 106,9 | 106,6 | 106,9 | 159,1 | 156,8 | 159,6 | 243,3 | 239,0 | 242,3 |
| 5. | 26,1 | 26,0 | 25,9 | 106,0 | 105,9 | 105,8 | 157,7 | 154,6 | 155,3 | 240,1 | 234,1 | 236,9 |
| 6. | 26,7 | 26,5 | 26,5 | 105,3 | 105,1 | 105,1 | 151,8 | 148,6 | 149,6 | 232,9 | 227,6 | 229,7 |
| 7. | 26,0 | 25,9 | 26,3 | 103,0 | 102,9 | 103,3 | 145,6 | 141,5 | 147,9 | 212,1 | 209,3 | 215,4 |
| 8. | 26,4 | 26,7 | 26,6 | 101,7 | 101,0 | 101,9 | 138,9 | 136,2 | 140,1 | 204,5 | 201,8 | 207,7 |
| 9. | 26,5 | 26,5 | 26,9 | 99,8 | 99,8 | 100,2 | 129,1 | 130,0 | 134,4 | 190,2 | 192,2 | 197,6 |
| 10. | 26,4 | 26,6 | 26,7 | 107,4 | 107,6 | 107,7 | 161,2 | 162,4 | 164,5 | 241,7 | 243,9 | 246,0 |
| 11. | 26,6 | 26,6 | 26,8 | 106,8 | 106,8 | 106,0 | 157,5 | 159,5 | 155,7 | 236,8 | 238,8 | 233,9 |
| 12. | 26,7 | 26,9 | 27,0 | 104,5 | 104,7 | 104,8 | 147,1 | 151,3 | 153,4 | 222,5 | 226,7 | 229,8 |
| 13. | 26,9 | 27,2 | 27,4 | 102,6 | 102,9 | 103,1 | 141,3 | 143,6 | 146,8 | 216,4 | 218,7 | 220,9 |
| 14. | 27,4 | 27,3 | 27,0 | 102,5 | 102,4 | 102,1 | 139,4 | 137,3 | 136,0 | 214,0 | 212,9 | 208,6 |
| 15. | 27,5 | 27,7 | 27,7 | 100,0 | 100,2 | 100,2 | 130,2 | 134,4 | 134,1 | 202,6 | 206,8 | 204,6 |
| 16. | 27,8 | 28,3 | 28,1 | 97,9 | 98,4 | 98,2 | 124,7 | 129,2 | 126,9 | 182,8 | 187,3 | 185,0 |
| 17. | 28,2 | 28,5 | 28,6 | 95,2 | 95,5 | 95,4 | 118,5 | 115,8 | 122,7 | 173,9 | 170,2 | 178,8 |
| 18. | 28,8 | 28,7 | 28,8 | 92,1 | 92,0 | 92,1 | 113,0 | 105,9 | 110,2 | 163,7 | 153,6 | 157,7 |

Nilai daya serap panas kemudian dihitung dengan cara suhu akhir pengovenan selama 30 menit dikurangi suhu awal (untuk masing-masing replikasi) sebelum dilakukan pengovenan.

Contoh perhitungan daya serap panas berdasarkan Tabel 4.3 adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya serap panas} = 153,6^{\circ}\text{C} - 28,7^{\circ}\text{C} = 124,9^{\circ}\text{C}$$

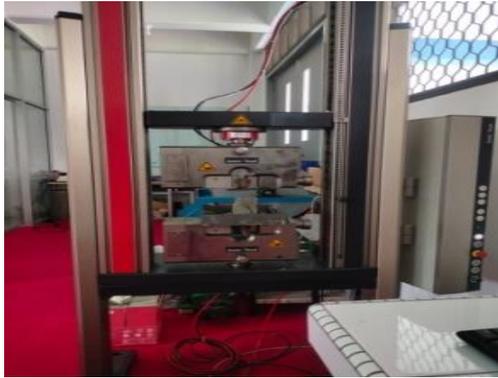
Rangkuman perhitungan nilai daya serap panas ditampilkan pada Tabel 4.4, sedangkan perhitungan lengkap terdapat pada Lampiran 3.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Daya Serap Panas

| Kode Sampel | Komposisi | | | Nilai Daya Serap Panas | | | Rata-rata (%) |
|-------------|------------|---------|--------|------------------------|--------------|--------------|---------------|
| | Foam Agent | Plastik | Semen | Sampel A (%) | Sampel B (%) | Sampel C (%) | |
| 1. | 8 % | 4,5 % | 24,5 % | 235,2 | 243,2 | 239,4 | 239,3 |
| 2. | 8 % | 4,5 % | 30 % | 228,5 | 229,6 | 232,6 | 230,2 |
| 3. | 8 % | 4,5 % | 35,5 % | 215,3 | 223,3 | 218,2 | 218,9 |
| 4. | 8 % | 3 % | 24,5 % | 217,4 | 213,4 | 216,4 | 215,7 |
| 5. | 8 % | 3 % | 30 % | 214 | 208,1 | 211 | 211 |
| 6. | 8 % | 3 % | 35,5 % | 206,2 | 201,1 | 203,2 | 203,5 |
| 7. | 8 % | 1,5 % | 24,5 % | 186,1 | 183,4 | 189,1 | 186,2 |
| 8. | 8 % | 1,5 % | 30 % | 178,1 | 175,1 | 181,1 | 178,1 |
| 9. | 8 % | 1,5 % | 35,5 % | 163,7 | 165,7 | 170,7 | 166,7 |
| 10. | 4 % | 4,5 % | 24,5 % | 215,3 | 217,3 | 219,3 | 217,3 |
| 11. | 4 % | 4,5 % | 30 % | 210,2 | 212,2 | 207,1 | 210 |
| 12. | 4 % | 4,5 % | 35,5 % | 195,8 | 199,8 | 202,8 | 199,5 |
| 13. | 4 % | 3 % | 24,5 % | 189,5 | 191,5 | 193,5 | 191,5 |
| 14. | 4 % | 3 % | 30 % | 186,5 | 185,6 | 181,6 | 184,6 |
| 15. | 4 % | 3 % | 35,5 % | 175,1 | 179,1 | 176,9 | 177 |
| 16. | 4 % | 1,5 % | 24,5 % | 155 | 159 | 156,9 | 157 |
| 17. | 4 % | 1,5 % | 30 % | 145,7 | 141,7 | 150,2 | 145,9 |
| 18. | 4 % | 1,5 % | 35,5 % | 134,9 | 124,9 | 128,9 | 129,6 |

4.2.3 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan mesin *Zwick Roell*. Gambar 4.4 adalah mesin *Zwick Roell*.



Gambar 4.4 Mesin *Zwick Roell*

Pengujian kuat tekan bata ringan menggunakan standar ISO 604. Gambar 4.5 adalah gambar sampel sebelum dan setelah dilakukan pengujian kuat tekan, sedangkan gambar sampel lengkap terdapat pada Lampiran 15.



Gambar 4.5 Sampel Bata Ringan Sebelum dan Setelah Dilakukan Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan sampel bata ringan ditunjukkan pada Tabel 4.5, sedangkan perhitungan lengkap terdapat pada Lampiran 4.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan

| Kode Sampel | Komposisi | | | Nilai Kuat Tekan | | | Rata-rata (%) |
|-------------|------------|---------|--------|------------------|--------------|--------------|---------------|
| | Foam Agent | Plastik | Semen | Sampel A (%) | Sampel B (%) | Sampel C (%) | |
| 1. | 8 % | 4,5 % | 24,5 % | 13,154 | 12,338 | 13,970 | 13,154 |
| 2. | 8 % | 4,5 % | 30 % | 3,355 | 6,526 | 7,362 | 5,748 |
| 3. | 8 % | 4,5 % | 35,5 % | 4,150 | 8,249 | 13,868 | 8,756 |
| 4. | 8 % | 3 % | 24,5 % | 8,678 | 9,024 | 16,723 | 11,475 |
| 5. | 8 % | 3 % | 30 % | 14,990 | 9,371 | 13,664 | 12,675 |
| 6. | 8 % | 3 % | 35,5 % | 53,636 | 65,873 | 46,702 | 55,404 |
| 7. | 8 % | 1,5 % | 24,5 % | 8,035 | 14,480 | 35,587 | 19,367 |
| 8. | 8 % | 1,5 % | 30 % | 9,432 | 15,092 | 21,822 | 15,448 |
| 9. | 8 % | 1,5 % | 35,5 % | 5,873 | 17,743 | 4,660 | 9,425 |
| 10. | 4 % | 4,5 % | 24,5 % | 75,968 | 4,048 | 11,115 | 30,377 |
| 11. | 4 % | 4,5 % | 30 % | 16,927 | 8,198 | 2,529 | 9,218 |
| 12. | 4 % | 4,5 % | 35,5 % | 1,050 | 5,537 | 4,364 | 3,650 |
| 13. | 4 % | 3 % | 24,5 % | 4,038 | 1,621 | 3,803 | 3,154 |
| 14. | 4 % | 3 % | 30 % | 12,644 | 4,303 | 13,970 | 10,306 |
| 15. | 4 % | 3 % | 35,5 % | 13,154 | 12,848 | 8,861 | 11,621 |
| 16. | 4 % | 1,5 % | 24,5 % | 13,052 | 8,545 | 12,746 | 11,448 |
| 17. | 4 % | 1,5 % | 30 % | 4,415 | 11,625 | 7,607 | 7,882 |
| 18. | 4 % | 1,5 % | 35,5 % | 11,319 | 4,650 | 19,884 | 11,951 |

4.2.4 Optimasi Multirespon Taguchi - GRA

Nilai daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan dari hasil perhitungan digunakan untuk menghitung nilai rasio *signal-noise* (S/N). Nilai rasio S/N berguna untuk menentukan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan. Rasio S/N respon tergantung dengan jenis karakteristik kualitasnya. Karakteristik kualitas daya serap air dan daya serap panas adalah nilai makin kecil kualitasnya akan lebih baik. Sedangkan untuk pengujian kuat tekan karakteristik kualitasnya nilai makin besar kualitasnya akan lebih baik. Analisis respon secara bersamaan ini diawali dengan menghitung rasio S/N.

Contoh untuk perhitungan rasio S/N daya serap air (*smaller the better*) berdasarkan nilai pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

$$\text{Rasio S/N} = -10 \log \left[\frac{1}{3} [22,914^2 + 19,675^2 + 18,662^2] \right] = -26,234$$

Contoh untuk perhitungan rasio S/N daya serap panas (*smaller the better*) berdasarkan nilai pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

$$\text{Rasio S/N} = -10 \log \left[\frac{1}{3} [235,2^2 + 243,2^2 + 239,4^2] \right] = -47,578$$

Contoh untuk perhitungan rasio S/N kuat tekan (*larger the better*) berdasarkan nilai pada Tabel 4.5 sebagai berikut:

$$\text{Rasio S/N} = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{13,154^2} + \frac{1}{12,338^2} + \frac{1}{13,970^2} \right] \right] = 22,348$$

Hasil perhitungan rasio S/N setiap respon sampel bata ringan ditunjukkan pada Tabel 4.6, sedangkan perhitungan lengkap terdapat pada Lampiran 5, Lampiran 6 dan Lampiran 7.

Tabel 4.6 Rasio S/N

| Sampel ke- | Rasio S/N Daya Serap Air (dB) | Rasio S/N Daya Serap Panas (dB) | Rasio S/N Kuat Tekan (dB) |
|------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 1 | -26,234 | -47,578 | 22,348 |
| 2 | -25,516 | -47,237 | 13,606 |
| 3 | -22,685 | -46,807 | 15,852 |
| 4 | -25,876 | -46,679 | 20,127 |
| 5 | -25,151 | -46,487 | 21,509 |
| 6 | -21,390 | -46,172 | 34,615 |
| 7 | -24,867 | -45,400 | 21,539 |
| 8 | -23,908 | -45,014 | 22,284 |
| 9 | -20,912 | -44,440 | 15,838 |
| 10 | -25,722 | -46,741 | 16,364 |
| 11 | -23,765 | -46,438 | 12,348 |
| 12 | -21,358 | -45,992 | 12,320 |
| 13 | -24,005 | -45,644 | 7,687 |
| 14 | -22,985 | -45,324 | 16,616 |
| 15 | -20,692 | -44,961 | 20,866 |
| 16 | -23,930 | -43,917 | 19,552 |
| 17 | -22,220 | -43,282 | 15,964 |
| 18 | -17,993 | -42,254 | 17,242 |

Kemudian penulis menormalisasikan nilai rasio S/N. Karakteristik kualitas daya serap air ialah makin kecil maka kualitasnya makin baik.

Contoh untuk perhitungan normalisasi rasio S/N daya serap air (*smaller the better*) berdasarkan Tabel 4.6 sebagai berikut:

$$X_i(1)_{\text{sksb}} = \frac{-17,993 - (-26,234)}{-17,993 - (-26,234)} = 1$$

Contoh untuk perhitungan normalisasi rasio S/N daya serap panas (*smaller the better*) berdasarkan Tabel 4.6 sebagai berikut:

$$X_i(1)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-47.578)}{-42,254 - (-47.578)} = 1$$

Contoh untuk perhitungan normalisaasi rasio S/N untuk kuat tekan (*larger the better*) berdasarkan Tabel 4.6 sebagai berikut:

$$X_i(1)_{\text{sksb}} = \frac{7,687 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0$$

Tabel 4.7 menampilkan rangkuman hasil perhitungan normalisasi rasio *signal-noise* (nilai $x_i(k)$) daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan, sedangkan perhitungan lengkap terdapat pada Lampiran 8, Lampiran 9 dan Lampiran 10.

Tabel 4.7 Normalisasi Rasio S/N

| Nilai $X_i(k)$ | Normalisasi Rasio S/N Daya Serap Air | Normalisasi Rasio S/N Daya Serap Panas | Normalisasi Rasio S/N Kuat Tekan |
|----------------|--------------------------------------|--|----------------------------------|
| $x_i(1)$ | 1 | 1 | 0,544 |
| $x_i(2)$ | 0,913 | 0,936 | 0,220 |
| $x_i(3)$ | 0,569 | 0,855 | 0,303 |
| $x_i(4)$ | 0,957 | 0,831 | 0,462 |
| $x_i(5)$ | 0,869 | 0,795 | 0,513 |
| $x_i(6)$ | 0,412 | 0,736 | 1 |
| $x_i(7)$ | 0,834 | 0,591 | 0,514 |
| $x_i(8)$ | 0,718 | 0,518 | 0,542 |
| $x_i(9)$ | 0,354 | 0,411 | 0,303 |
| $x_i(10)$ | 0,938 | 0,843 | 0,322 |
| $x_i(11)$ | 0,700 | 0,786 | 0,173 |
| $x_i(12)$ | 0,408 | 0,702 | 0,172 |
| $x_i(13)$ | 0,729 | 0,637 | 0 |
| $x_i(14)$ | 0,606 | 0,577 | 0,332 |
| $x_i(15)$ | 0,327 | 0,508 | 0,489 |
| $x_i(16)$ | 0,720 | 0,312 | 0,441 |
| $x_i(17)$ | 0,513 | 0,193 | 0,307 |
| $x_i(18)$ | 0 | 0 | 0,355 |

Langkah berikutnya semua nilai $x_i(k)$ yang didalam Tabel 4.7 dikonversikan jadi nilai *Grey Relational Coefficient* (GRC) ($\mathcal{E}_i(k)$). Contoh untuk hitungan konversi nilai $x_i(k)$ ke GRC daya serap air dan serap panas sebagai berikut:

$$\Delta_{oi}(1) = \|1-1\| = 0$$

$$\mathcal{E}_i(1) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0 + 0,5 \times 1} = 1$$

Contoh untuk hitungan konversi nilai $x_i(k)$ ke GRC kuat tekan sebagai berikut:

$$\Delta_{oi}(1) = \|1-0\| = 1$$

$$\mathcal{E}_i(1) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{1 + 0,5 \times 1} = 0,333$$

Ringkasan hitungan nilai $\Delta_{oi}(x)$, $\mathcal{E}_i(x)$ dan nilai γ_i ditunjukkan pada Tabel 4.8, sedangkan perhitungan lengkap terdapat pada Lampiran 11, Lampiran 12 dan Lampiran 13.

Tabel 4.8 *Grey Relational Coefficient dan Grey Relational Grade*

| <i>Grey Relational Coefficient</i> | | | | <i>Grey Relational Grade</i> | | | | |
|------------------------------------|----------------|------------------|------------|------------------------------|----------------|------------------|------------|------------------------------|
| Nilai $\Delta_{oi}(x)$ | Daya Serap Air | Daya Serap Panas | Kuat Tekan | Nilai $\mathcal{E}_i(x)$ | Daya Serap Air | Daya Serap Panas | Kuat Tekan | <i>Grey Relational Grade</i> |
| $\Delta_{oi}(1)$ | 0 | 0 | 0,455 | $\mathcal{E}_i(1)$ | 1 | 1 | 0,523 | 0,841 |
| $\Delta_{oi}(2)$ | 0,087 | 0,064 | 0,780 | $\mathcal{E}_i(2)$ | 0,852 | 0,886 | 0,391 | 0,709 |
| $\Delta_{oi}(3)$ | 0,431 | 0,145 | 0,697 | $\mathcal{E}_i(3)$ | 0,537 | 0,775 | 0,418 | 0,577 |
| $\Delta_{oi}(4)$ | 0,043 | 0,169 | 0,538 | $\mathcal{E}_i(4)$ | 0,920 | 0,747 | 0,482 | 0,716 |
| $\Delta_{oi}(5)$ | 0,131 | 0,205 | 0,487 | $\mathcal{E}_i(5)$ | 0,792 | 0,709 | 0,507 | 0,669 |
| $\Delta_{oi}(6)$ | 0,588 | 0,264 | 0 | $\mathcal{E}_i(6)$ | 0,460 | 0,654 | 1 | 0,705 |
| $\Delta_{oi}(7)$ | 0,166 | 0,409 | 0,486 | $\mathcal{E}_i(7)$ | 0,751 | 0,550 | 0,507 | 0,603 |
| $\Delta_{oi}(8)$ | 0,282 | 0,482 | 0,458 | $\mathcal{E}_i(8)$ | 0,639 | 0,509 | 0,522 | 0,557 |
| $\Delta_{oi}(9)$ | 0,646 | 0,589 | 0,697 | $\mathcal{E}_i(9)$ | 0,436 | 0,459 | 0,418 | 0,438 |
| $\Delta_{oi}(10)$ | 0,062 | 0,157 | 0,678 | $\mathcal{E}_i(10)$ | 0,889 | 0,761 | 0,424 | 0,692 |
| $\Delta_{oi}(11)$ | 0,300 | 0,214 | 0,827 | $\mathcal{E}_i(11)$ | 0,625 | 0,700 | 0,377 | 0,567 |
| $\Delta_{oi}(12)$ | 0,592 | 0,298 | 0,828 | $\mathcal{E}_i(12)$ | 0,458 | 0,627 | 0,376 | 0,487 |
| $\Delta_{oi}(13)$ | 0,270 | 0,363 | 1 | $\mathcal{E}_i(13)$ | 0,649 | 0,579 | 0,333 | 0,520 |
| $\Delta_{oi}(14)$ | 0,394 | 0,423 | 0,668 | $\mathcal{E}_i(14)$ | 0,559 | 0,541 | 0,428 | 0,509 |
| $\Delta_{oi}(15)$ | 0,672 | 0,491 | 0,511 | $\mathcal{E}_i(15)$ | 0,426 | 0,504 | 0,495 | 0,475 |
| $\Delta_{oi}(16)$ | 0,280 | 0,688 | 0,559 | $\mathcal{E}_i(16)$ | 0,641 | 0,421 | 0,472 | 0,511 |
| $\Delta_{oi}(17)$ | 0,488 | 0,807 | 0,693 | $\mathcal{E}_i(17)$ | 0,506 | 0,383 | 0,419 | 0,436 |
| $\Delta_{oi}(18)$ | 1 | 1 | 0,645 | $\mathcal{E}_i(18)$ | 0,333 | 0,333 | 0,437 | 0,368 |

Setelah didapatkan nilai GRG, selanjutnya akan dilakukan penghitungan untuk nilai setiap level faktor nilai GRG. Nilai perhitungan rerata tiap level GRG ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Rerata Nilai *Grey Relational Grade* Setiap Level Faktor

| Faktor | Rerata <i>Grey Relational Grade</i> | | | Selisih Maks dan Min | <i>Ranking</i> |
|-------------------|--|---------|---------|----------------------------|----------------|
| | Level 1 | Level 2 | Level 3 | | |
| <i>Foam Agent</i> | 0,646 | 0,507 | - | 0,138 | 3 |
| Plastik | 0,646 | 0,599 | 0,485 | 0,160 | 1 |
| Semen | 0,647 | 0,575 | 0,508 | 0,139 | 2 |
| Rata-rata = 0,577 | | | | | |

Pada Tabel 4.9, berdasarkan selisih nilai GRG terkecil dan terbesar, faktor plastik mempunyai nilai tertinggi dibandingkan faktor lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa plastik memiliki kontribusi terbesar dalam mendapatkan kombinasi terbaik dari respon daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan.

Penentuan campuran faktor yang optimum dilakukan berdasarkan nilai rerata terbesar dari setiap faktor seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.9.

Campuran faktor sesuai dengan respon tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Campuran Faktor Untuk Respon Optimal

| Faktor | Tingkat Level | Nilai Level |
|-------------------|---------------|-------------|
| <i>Foam Agent</i> | 1 | 8% |
| Plastik | 1 | 4,5% |
| Semen | 1 | 24,5% |

Selanjutnya Analisis variansi (ANAVA) dan persen kontribusi digunakan pada faktor yang memiliki lebih dari dua level untuk mencari faktor yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap pengujian, serta menyatakan besarnya kontribusi faktor terhadap pengujian. Dalam penelitian ini, ANAVA dilakukan pada GRG yang merupakan faktor yang mewakili semua pengujian.

Penghitungan pada jumlah kuadrat total pada ANAVA GRG sebagai berikut:

$$SS_t = (0,841-0,577)^2 + (0,709-0,577)^2 + (0,577-0,577)^2 + (0,716-0,577)^2 + (0,669-0,577)^2 + (0,705-0,577)^2 + (0,603-0,577)^2 + (0,557-0,577)^2 + (0,438-0,577)^2 + (0,692-0,577)^2 + (0,567-0,577)^2 + (0,487-0,577)^2 +$$

$$(0,520-0,577)^2 + (0,509-0,577)^2 + (0,475-0,577)^2 + (0,511-0,577)^2 + (0,436-0,577)^2 + (0,368-0,577)^2 = 0,259$$

Contoh untuk hitungan kuadrat total faktor *foam agent* sebagai berikut:

$$SS_{foam\ agent} = 9 \times (0,646 - 0,577)^2 + (0,507 - 0,577)^2 = 0,087$$

Contoh untuk hitungan rata-rata kuadrat untuk faktor *foam agent* sebagai berikut:

$$MS_{foam\ agent} = \frac{0,087}{1} = 0,087$$

Tabel ANAVA didasarkan pada hasil perhitungan GRG ditampilkan di Tabel 4.11, sedangkan perhitungan lengkap terdapat pada Lampiran 14.

Tabel 4.11 ANAVA untuk *Grey Relational Grade*

| Source | DF | Seq SS | Adj MS | F |
|-------------------|----|--------|--------|--------|
| <i>Foam Agent</i> | 1 | 0,087 | 0,087 | 28,983 |
| Plastik | 2 | 0,082 | 0,041 | 13,709 |
| Semen | 2 | 0,058 | 0,029 | 9,665 |
| <i>Error</i> | 12 | 0,032 | 0,003 | |
| Total | 17 | | 0,259 | |

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor, terlebih dahulu dihitung SS' seperti dibawah ini:

$$SS'_A = 0,087 - (1 \times 0,008) = 0,079$$

$$SS'_B = 0,082 - (2 \times 0,008) = 0,066$$

$$SS'_C = 0,058 - (2 \times 0,008) = 0,042$$

$$SS'_e = 0,259 - 0,079 - 0,066 - 0,042$$

$$= 0,072$$

Lalu persen kontribusi masing-masing faktor dihitung sebagai berikut:

$$\rho^A = \frac{0,079}{0,259} \times 100\% = 30,502\%$$

$$\rho^B = \frac{0,066}{0,259} \times 100\% = 25,483\%$$

$$\rho^C = \frac{0,042}{0,259} \times 100\% = 16,216\%$$

$$\rho^e = \frac{0,072}{0,259} \times 100\% = 27,799\%$$

Hasil perhitungan persen kontribusi terhadap rata-rata ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Persen Kontribusi

| Source | DF | Seq SS | Adj MS | F | SS' | P(%) |
|------------|----|--------|--------|--------|-------|---------|
| Foam Agent | 1 | 0,087 | 0,087 | 28,983 | 0,079 | 30,502% |
| Plastik | 2 | 0,082 | 0,041 | 13,709 | 0,066 | 25,483% |
| Semen | 2 | 0,058 | 0,029 | 9,665 | 0,042 | 16,216% |
| Error | 12 | 0,032 | 0,003 | | 0,072 | 27,799% |
| Total | 17 | | 0,259 | | | 100% |

Tabel 4.15 di atas menunjukkan bahwa faktor *foam agent* memberikan kontribusi sebesar 30,502%, diikuti oleh faktor plastik sebesar 25,483% dan faktor semen sebesar 16,216%.

Kemudian untuk prediksi multi respon optimal dan interval keyakinan didapatkan dari hasil perhitungan GRG yang menampilkan campuran faktor untuk respon yang optimal, seperti yang terdapat pada Tabel 4.10. Hasil perhitungan *mean GRG* bisa dipakai dalam memprediksi nilai GRG yang optimum. Campuran dari setiap faktor yang mempengaruhi secara signifikan terhadap GRG yang optimum adalah:

1. Faktor *foam agent* pada level 1
2. Faktor plastik pada level 1
3. Faktor semen pada level 1

Perhitungan untuk prediksi nilai GRG sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\hat{Y} &= 0,577 + (0,646 - 0,577) \\ &+ (0,646 - 0,577) \\ &+ (0,647 - 0,577)\end{aligned}$$

$$\hat{Y} = 0,785$$

Jadi dengan nilai GRG, hasil prediksi untuk campuran faktor yang menghasilkan respon optimal adalah 0,785.

Selanjutnya hitung banyak pengamatan efektif (n_{eff}) terlebih dahulu sebagai berikut:

$$n_{\text{eff}} = \frac{18 \times 3}{1+(1+2+2)}$$

$$n_{\text{eff}} = 9$$

Perhitungan interval keyakinan untuk situasi optimal membutuhkan nilai F dan MS_e . Nilai F adalah $F_{(0,05;2;12)} = 3,89$ dan nilai $MS_e = 0,003$.

Penghitungan interval keyakinan untuk kondisi optimal sebagai berikut:

$$CI_1 : \sqrt{\frac{3,89 \times 0,003}{9}}$$

$$CI_1 : \pm 0,324$$

Dengan demikian interval keyakinan 95% untuk nilai rerata GRG pada campuran yang optimum (GRG prediksi) adalah $0,785 \pm 0,324$ atau $0,461 \leq GRG_{\text{prediksi}} \leq 1,109$.

Hasil akhir penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk nilai optimal terdapat pada campuran faktor foam agent level 1, plastik level 1 dan semen level 1.
2. Penelitian ini menggunakan campuran foam agent dan sampah plastik. Pemanfaatan sampah plastik berguna untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan banyaknya sampah plastik dan menjadikan sampah plastik menjadi barang yang bisa dipakai kembali. Untuk ukuran sampah plastik yang digunakan ukuran acak.

3. Pengaplikasian bata ringan dalam penelitian ini sebagai bahan pembuatan rumah dan gedung-gedung.
4. Untuk hasil kuat tekan dalam penelitian ini berada ditengah-tengah diantara penelitian terdahulu (Supriyadi, 2020 dengan Widyawati, 2020) dan untuk serap air lebih rendah dari penelitian terdahulu (Setyowati M, 2020).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan seperti proses optimasi. Maka dari penelitian yang berjudul “Optimasi Faktor Proses Pembuatan Komposit Semen/Plastik/*Foam* Dengan Kombinasi Metode Taguchi Dengan *Grey Relational Analysis*” dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai optimal yang didapatkan dari pengolahan data secara bersamaan untuk pengujian daya serap air, daya serap panas dan kuat tekan 0,785. Adapun nilai tersebut terjadi pada sampel dengan campuran *foam agent* sebesar 8%, plastik 4,5% dan semen 24,5%.

5.2. Saran

Dalam penelitian yang berjudul “Optimasi Faktor Proses Pembuatan Komposit Semen/Plastik/*Foam* Dengan Kombinasi Metode Taguchi Dengan *Grey Relational Analysis*” penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya agar dapat lebih baik dari proses hingga hasil yang diperoleh nantinya yaitu:

- Untuk penelitian selanjutnya menggunakan faktor yang berbeda untuk mengetahui nilai optimal dengan hasil yang berbeda dari penelitian yang telah dilakukan menggunakan semen, plastik dan *foam*.
- Untuk penelitian selanjutnya menggunakan metode yang berbeda dari penelitian ini agar bisa lebih dikembangkan.
- Pastikan saat penuangan hasil pengadukan semua bahan tertuang secara merata kedalam cetakan, supaya hasil cetakan tidak cacat dan tidak melakukan pengulangan pencetakan.
- Pastikan saat proses pencetakan utamakan keselamatan kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, C. H. (2017). Aditya, C., Halim, A., Pemanfaatan Limbah Marmer Dan Serbuk Zeolit Sebagai Material Pada Bata Ringan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*). In *Seminar Nasional Sistem Informasi (SENASIF)* (Vol. 1, No. 1, pp. 919-930).
- Al Faruqi, A. (2019). Studi Pengaruh Variasi Komposisi Binder Sampah Plastik *Polypropylene* (PP) Dan *High-Density Polyethylene* (HDPE) Terhadap Sifat Fisis Dan Sifat Mekanik Komposit Berpenguat Serbuk Ampas Tebu Untuk Aplikasi Papan Partikel. *Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Anambyah, S. &. (2010). Pengaruh Pewarnaan Beton Cetak Pada Dinding Serap Sebagai Selubung Bangunan Tinggi. *Vol. 3, No. 2*.
- Dwijayanti, N. (2017). Optimasi Multirespon Gaya Tekan, Torsi, Keausan Tepi Pahat dan Kekasaran Permukaan pada Proses Gurdi Untuk Material EMS-45 dengan Menggunakan Metode Taguchi-GRA. *Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Fahlevi, M. (2012). *Sampah Plastik*. Retrieved from <http://rizafahlevi.blogspot.com/2012/01/twit-sampah-plastik.html>.
- Gibson, f. (1994). *Principles Of Composites Materials Mechanis*. New York : Mcgraw-hill: 1994.
- Hunggurami, E. B. (2014). Studi Eksperimental Kuat Tekan dan Serapan Air Bata Ringan *Cellular Lightweight Concrete* dengan Tanah Putih Sebagai Agregat. *Jurnal Teknik Sipil, 3(2), 125-136*.
- Indonesia, S. N. (2004). Semen Portland Komposit. *SNI 15-7064-2004, ICS 91.10.10, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta*.

- Kamaliah. (2019). Pemanfaatan Limbah Sampah Plastik Menjadi Bata Beton. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 41-46.
- Kristiana, R. (2006). Analisa Produktifitas Dinding Bata Ringan dan Dinding Precast pada Bangunan Gedung Tinggi Hunian. *Kristiana, R. (2016). Analisa Produktifitas Dinding BRekayasa Sipil Mercu Buana*, 5(2), 81-92.
- Kumar, S. P. (2011). *A Review On Tertiary Recycling Of High-Density Polyethylene To Fuel. Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 893-910.
- Mahmuda, E. (2013). Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ijuk Dengan Matrik Epoxy. *Jurnal fema*, volume 1, nomor 3, juli 2013, 79.
- Mulyono, T. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Novi Suryani, M. (2015). Fabrikasi Bata Ringan Tipe Celluler Lightweight Concrete Dengan Bahan Dasar Pasir Vulkanik Gunung Kelud Sebagai Pengganti Fly Ash. *Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3), 106-111.
- Nugroho, D. S. (2019). Pengaruh Campuran Abu Sekam Padi Terhadap Kualitas Bata Merah di Desa Tegalombo, Kecamatan Dukuhseti, Kabupaten Pati. *Wahana Teknik*, 8, 2.
- Oktaviani, P. A. (2019). Studi Eksperimental Pembuatan Batu Bata Ringan Dengan Memakai *Additive Foam Agent*. *Teknik sipil*.
- Pamuji, D. (2015). Optimasi Multi Respon Menggunakan Metode Taguchi *Grey-Fuzzy* Pada Proses *End Milling* Material Assab Xw-42 Dengan Pendinginan Nitrogen Cair (*doctorial dissertation*, instut teknologi sepuluh nopember).
- Pamungkas, M. D., & Risdianto, y. (2020). Pengaruh Penambahan Serat Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Pembuatan Beton Ringan Seluler (CLC). *Rekayasa teknik sipil* 1-7.

- Prayitno, E. (2021). Analisa Berat Isi Dan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan *Foam Agent* dengan Bahan Tambah Serbuk Gypsum. *Simetris*, 15(1), 7-11.
- Putra, W. A. (2020, April). Ketahanan Beton Semen *Portland Composite Cement* (PCC) Di Lingkungan Gambut Kabupaten Bengkalis. *14*, 27-34.
- Setiawan, R. B. (2018). Analisis Pembentukan Fasa dan Kuat Tekan Bata Ringan *Aerated Autoclaved Concrete* (AAC) dengan Menggunakan Variasi Komposisi Si, Ca, Al (*Doctoral dissertation*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya).
- Setyowati, M. (2019). Analisis Penambahan *Foam Agent* Pada Bata Ringan Pegunungan Kendeng Kabupaten Rembang. (*Doctoral dissertation*, UNNES).
- Setyowati, M. (2019). Analisis Penambahan *Foam Agent* Pada Bata Ringan Pegunungan Kendeng Kabupaten Rembang. *Doctoral dissertation*.
- Soejanto, I. (2009). Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi. Yogyakarta: *Graha ilmu*.
- Supriyadi, d. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Jenis Thermosting Terhadap Mutu Bata Ringan. *Pengembangan Teknik Sipil*, 145.
- Susanto, D. D. (2019). Karakteristik Beton Menggunakan *Portland Composite Cement* (PCC) Dan Silica Fume Untuk Aplikasi Struktur Di Daerah Laut. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 15(1).
- Taufik, H. K. (2017). Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah *Foaming Agent*. *Jurnal Saintis*, 17(1), 52-62.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). Teknologi Beton. *Teknik sipil*.

- Wicaksono, S. T. (2019). Pengaruh Komposisi *Filler* Limbah *Polypropylene* dan Sekam Padi Terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Komposit Untuk Aplikasi Papan Semen Partikel. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), D98-D105.
- Widyawati, F. (. (2020). Pemanfaatan Serat Sisal (*agave sisalana L.*) dan Limbah Plastik Pet Untuk Pembuatan Bata Ringan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*). *Jurnal Tambora*, 4(1), 21-25.
- Wijayanti, W. (2012). Membuat Genteng dan Batu Bata. *Tirta media*.



Lampiran 1 : Daftar Riwayat Hidup



Nama : Muhamad Fajri
Tempat Tanggal Lahir : Bakam, 22 November 2000
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Pendidikan Terakhir : DIV Teknik Mesin dan Manufaktur
Alamat : Jl. Raya Pangkalpinang-Muntok
KM.37M RT 001/RW 001, Desa
Bakam, Kecamatan Bakam
Kabupaten Bangka, Provinsi
Kepulauan Bangka Belitung
Email : fajpd77@gmail.com

Riwayat Pendidikan

1. SDN 4 Bakam : Tahun 2006 – 2012
2. SMPN 1 Bakam : Tahun 2012 – 2015
3. SMKN 1 Bakam : Tahun 2015 – 2018
4. Polman Negeri Bangka Belitung : Tahun 2018 - 2022

Lampiran 2 : Perhitungan Daya Serap Air

Menggunakan rumus persamaan:

$$\text{Penyerapan} = \frac{(Mb - Mk)}{Mk} \times 100\%$$

Keterangan:

Mb = Massa setelah perendaman (gr)

Mk = Massa setelah penjemuran (gr)

Pada Eksperimen 1

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(352,69 - 286,94)}{286,94} \times 100\% = 22,914$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(348,77 - 291,43)}{291,43} \times 100\% = 19,675$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(353,66 - 298,04)}{298,04} \times 100\% = 18,662$$

Pada Eksperimen 2

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(395,67 - 331,62)}{331,62} \times 100\% = 19,314$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(384,21 - 326,93)}{326,93} \times 100\% = 17,521$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(403,15 - 336,78)}{336,78} \times 100\% = 19,707$$

Pada Eksperimen 3

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(426,51 - 379,59)}{379,59} \times 100\% = 12,361$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(435,88-383,27)}{383,27} \times 100\% = 13,727$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(431,42-376,19)}{376,19} \times 100\% = 14,681$$

Pada Eksperimen 4

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(336,09-280,89)}{280,89} \times 100\% = 19,652$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(333,93-276,05)}{276,05} \times 100\% = 20,967$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(343,51-290,37)}{290,37} \times 100\% = 18,301$$

Pada Eksperimen 5

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(395,65-334,15)}{334,15} \times 100\% = 18,405$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(398,02-340,24)}{340,24} \times 100\% = 16,982$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(409,67-344,71)}{344,71} \times 100\% = 18,845$$

Pada Eksperimen 6

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(432,70-398,37)}{398,37} \times 100\% = 8,618$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(440,20-394,44)}{394,44} \times 100\% = 11,601$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(444,43-388,85)}{388,85} \times 100\% = 14,293$$

Pada Eksperimen 7

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(369,26-314,53)}{314,53} \times 100\% = 17,401$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(372,47-317,95)}{317,95} \times 100\% = 17,147$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(366,19-310,38)}{310,38} \times 100\% = 17,981$$

Pada Eksperimen 8

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(421,55-367,05)}{367,05} \times 100\% = 14,848$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(416,52-364,27)}{364,27} \times 100\% = 14,344$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(436,96-371,41)}{371,41} \times 100\% = 17,649$$

Pada Eksperimen 9

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(415,99-380,98)}{380,98} \times 100\% = 9,189$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(433,36-384,35)}{384,35} \times 100\% = 12,751$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(430,71-387,70)}{387,70} \times 100\% = 11,094$$

Pada Eksperimen 10

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(383,75-322,53)}{322,53} \times 100\% = 18,981$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(379,40-318,18)}{318,18} \times 100\% = 19,241$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(389,49-325,27)}{325,27} \times 100\% = 19,744$$

Pada Eksperimen 11

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(421,49-365,26)}{365,26} \times 100\% = 15,394$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(430,31-369,08)}{369,08} \times 100\% = 16,590$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(411,94-360,71)}{360,71} \times 100\% = 14,202$$

Pada Eksperimen 12

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(437,72-322,53)}{322,53} \times 100\% = 11,757$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(379,40-391,67)}{391,67} \times 100\% = 10,159$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(435,36-385,31)}{385,31} \times 100\% = 12,989$$

Pada Eksperimen 13

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(350,00-305,26)}{305,26} \times 100\% = 14,656$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(354,38-309,64)}{309,64} \times 100\% = 14,449$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(355,67-300,93)}{300,93} \times 100\% = 18,190$$

Pada Eksperimen 14

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(412,92-365,21)}{365,21} \times 100\% = 13,064$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(429,05-370,34)}{370,34} \times 100\% = 15,853$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(408,89-361,18)}{361,18} \times 100\% = 13,209$$

Pada Eksperimen 15

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(432,22-394,97)}{394,97} \times 100\% = 9,431$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(435,09-390,68)}{390,68} \times 100\% = 11,367$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(443,36-397,41)}{397,41} \times 100\% = 11,562$$

Pada Eksperimen 16

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(365,00-316,19)}{316,19} \times 100\% = 15,437$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(356,61-311,80)}{311,80} \times 100\% = 14,371$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(375,16-320,03)}{320,03} \times 100\% = 17,226$$

Pada Eksperimen 17

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(406,49-365,88)}{365,88} \times 100\% = 11,099$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(407,12-360,27)}{360,27} \times 100\% = 13,004$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(409,53-357,92)}{357,92} \times 100\% = 14,419$$

Pada Eksperimen 18

Sampel 1

$$\text{Penyerapan} = \frac{(387,53-362,75)}{362,75} \times 100\% = 6,831$$

Sampel 2

$$\text{Penyerapan} = \frac{(400,07-368,29)}{368,29} \times 100\% = 8,629$$

Sampel 3

$$\text{Penyerapan} = \frac{(404,39-373,61)}{373,61} \times 100\% = 8,238$$



Lampiran 3 : Perhitungan Daya Serap Panas

Cara penghitungannya dengan cara suhu akhir 30 menit dikurangi suhu awal.

| 1 | Suhu Awal (°C) | | | 30 Menit (°C) | | | Hasil Perhitungan | | |
|----|----------------|------|------|---------------|-------|-------|-------------------|----------|----------|
| 2 | A | B | C | A | B | C | Sampel 1 | Sampel 2 | Sampel 3 |
| 3 | 25.8 | 26.3 | 25.7 | 261 | 269.5 | 265.1 | 235.2 | 243.2 | 239.4 |
| 4 | 25.9 | 26.1 | 26.2 | 254.4 | 255.7 | 258.8 | 228.5 | 229.6 | 232.6 |
| 5 | 26.3 | 26.4 | 26.3 | 241.6 | 249.7 | 244.5 | 215.3 | 223.3 | 218.2 |
| 6 | 25.9 | 25.6 | 25.9 | 243.3 | 239 | 242.3 | 217.4 | 213.4 | 216.4 |
| 7 | 26.1 | 26 | 25.9 | 240.1 | 234.1 | 236.9 | 214 | 208.1 | 211 |
| 8 | 26.7 | 26.5 | 26.5 | 232.9 | 227.6 | 229.7 | 206.2 | 201.1 | 203.2 |
| 9 | 26 | 25.9 | 26.3 | 212.1 | 209.3 | 215.4 | 186.1 | 183.4 | 189.1 |
| 10 | 26.4 | 26.7 | 26.6 | 204.5 | 201.8 | 207.7 | 178.1 | 175.1 | 181.1 |
| 11 | 26.5 | 26.5 | 26.9 | 190.2 | 192.2 | 197.6 | 163.7 | 165.7 | 170.7 |
| 12 | 26.4 | 26.6 | 26.7 | 241.7 | 243.9 | 246 | 215.3 | 217.3 | 219.3 |
| 13 | 26.6 | 26.6 | 26.8 | 236.8 | 238.8 | 233.9 | 210.2 | 212.2 | 207.1 |
| 14 | 26.7 | 26.9 | 27 | 222.5 | 226.7 | 229.8 | 195.8 | 199.8 | 202.8 |
| 15 | 26.9 | 27.2 | 27.4 | 216.4 | 218.7 | 220.9 | 189.5 | 191.5 | 193.5 |
| 16 | 27.4 | 27.3 | 27 | 214 | 212.9 | 208.6 | 186.6 | 185.6 | 181.6 |
| 17 | 27.5 | 27.7 | 27.7 | 202.6 | 206.8 | 204.6 | 175.1 | 179.1 | 176.9 |
| 18 | 27.8 | 28.3 | 28.1 | 182.8 | 187.3 | 185 | 155 | 159 | 156.9 |
| 19 | 28.2 | 28.5 | 28.6 | 173.9 | 170.2 | 178.8 | 145.7 | 141.7 | 150.2 |
| 20 | 28.8 | 28.7 | 28.8 | 163.7 | 153.6 | 157.7 | 134.9 | 124.9 | 128.9 |
| 21 | | | | | | | | | |

Lampiran 4 : Perhitungan Kuat Tekan

| | | | mPA ke | | | | |
|----------|----------|----------|--------|-------------------|----------|----------|--|
| sampel 1 | sampel 2 | sampel 3 | kg/cm2 | Hasil Perhitungan | | | |
| 1.29 | 1.21 | 1.37 | 10,197 | 13154.13 | 12338.37 | 13969.89 | |
| 0.329 | 0.64 | 0.722 | 10,197 | 3354.813 | 6526.08 | 7362.234 | |
| 0.407 | 0.809 | 1.36 | 10,197 | 4150.179 | 8249.373 | 13867.92 | |
| 0.851 | 0.885 | 1.64 | 10,197 | 8677.647 | 9024.345 | 16723.08 | |
| 1.47 | 0.919 | 1.34 | 10,197 | 14989.59 | 9371.043 | 13663.98 | |
| 5.26 | 6.46 | 4.58 | 10,197 | 53636.22 | 65872.62 | 46702.26 | |
| 0.788 | 1.42 | 3.49 | 10,197 | 8035.236 | 14479.74 | 35587.53 | |
| 0.925 | 1.48 | 2.14 | 10,197 | 9432.225 | 15091.56 | 21821.58 | |
| 0.576 | 1.74 | 0.457 | 10,197 | 5873.472 | 17742.78 | 4660.029 | |
| 7.45 | 0.397 | 1.09 | 10,197 | 75967.65 | 4048.209 | 11114.73 | |
| 1.66 | 0.804 | 0.248 | 10,197 | 16927.02 | 8198.388 | 2528.856 | |
| 0.103 | 0.543 | 0.428 | 10,197 | 1050.291 | 5536.971 | 4364.316 | |
| 0.396 | 0.159 | 0.373 | 10,197 | 4038.012 | 1621.323 | 3803.481 | |
| 1.24 | 0.422 | 1.37 | 10,197 | 12644.28 | 4303.134 | 13969.89 | |
| 1.29 | 1.26 | 0.869 | 10,197 | 13154.13 | 12848.22 | 8861.193 | |
| 1.28 | 0.838 | 1.25 | 10,197 | 13052.16 | 8545.086 | 12746.25 | |
| 0.433 | 1.14 | 0.746 | 10,197 | 4415.301 | 11624.58 | 7606.962 | |
| 1.11 | 0.456 | 1.95 | 10,197 | 11318.67 | 4649.832 | 19884.15 | |

Lampiran 5 : Rasio S/N Daya Serap Air

Menggunakan rumus persamaan *smaller the better* (semakin kecil maka semakin baik):

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n}$$

Pada Eksperimen 1

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [22,914^2 + 19,675^2 + 18,662^2] \right] = -26,234$$

Pada Eksperimen 2

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [19,314^2 + 17,521^2 + 19,707^2] \right] = -25,516$$

Pada Eksperimen 3

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [12,361^2 + 13,727^2 + 14,681^2] \right] = -22,685$$

Pada Eksperimen 4

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [19,652^2 + 20,967^2 + 18,301^2] \right] = -25,876$$

Pada Eksperimen 5

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [18,405^2 + 16,982^2 + 18,845^2] \right] = -25,151$$

Pada Eksperimen 6

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [8,618^2 + 11,601^2 + 14,293^2] \right] = -21,390$$

Pada Eksperimen 7

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [17,401^2 + 17,147^2 + 17,981^2] \right] = -24,867$$

Pada Eksperimen 8

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [14,848^2 + 14,344^2 + 17,649^2] \right] = -23,908$$

Pada Eksperimen 9

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [9,189^2 + 12,751^2 + 11,094^2] \right] = -20,912$$

Pada Eksperimen 10

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [18,981^2 + 19,241^2 + 19,744^2] \right] = -25,722$$

Pada Eksperimen 11

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [15,394^2 + 16,590^2 + 14,202^2] \right] = -23,765$$

Pada Eksperimen 12

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [11,757^2 + 10,159^2 + 12,989^2] \right] = -21,358$$

Pada Eksperimen 13

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [14,656^2 + 14,449^2 + 18,190^2] \right] = -24,005$$

Pada Eksperimen 14

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [13,064^2 + 15,853^2 + 13,209^2] \right] = -22,985$$

Pada Eksperimen 15

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [9,431^2 + 11,367^2 + 11,562^2] \right] = -20,692$$

Pada Eksperimen 16

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [15,437^2 + 14,371^2 + 17,226^2] \right] = -23,930$$

Pada Eksperimen 17

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [11,099^2 + 13,004^2 + 14,419^2] \right] = -22,220$$

Pada Eksperimen 18

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [6,831^2 + 8,629^2 + 8,238^2] \right] = -17,993$$

Lampiran 6 : Rasio S/N Daya Serap Panas

Menggunakan rumus persamaan *Smaller the better* (semakin kecil maka semakin baik):

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n}$$

Pada Eksperimen 1

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [235,2^2 + 243,2^2 + 239,4^2] \right] = -47,578$$

Pada Eksperimen 2

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [228,5^2 + 229,6^2 + 232,6^2] \right] = -47,237$$

Pada Eksperimen 3

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [215,3^2 + 223,3^2 + 218,2^2] \right] = -46,807$$

Pada Eksperimen 4

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [217,4^2 + 213,4^2 + 216,4^2] \right] = -46,679$$

Pada Eksperimen 5

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [214^2 + 208,1^2 + 211^2] \right] = -46,487$$

Pada Eksperimen 6

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [206,2^2 + 201,1^2 + 203,2^2] \right] = -46,172$$

Pada Eksperimen 7

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [186,1^2 + 183,4^2 + 189,1^2] \right] = -45,400$$

Pada Eksperimen 8

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [178,1^2 + 175,1^2 + 181,1^2] \right] = -45,014$$

Pada Eksperimen 9

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [163,7^2 + 165,7^2 + 170,7^2] \right] = -44,440$$

Pada Eksperimen 10

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [215,3^2 + 217,3^2 + 219,3^2] \right] = -46,741$$

Pada Eksperimen 11

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [210,2^2 + 212,2^2 + 207,1^2] \right] = -46,438$$

Pada Eksperimen 12

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [195,8^2 + 199,8^2 + 202,8^2] \right] = -45,992$$

Pada Eksperimen 13

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [189,5^2 + 191,5^2 + 193,5^2] \right] = -45,644$$

Pada Eksperimen 14

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [186,52^2 + 185,6^2 + 181,6^2] \right] = -45,324$$

Pada Eksperimen 15

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [175,1^2 + 179,1^2 + 176,9^2] \right] = -44,961$$

Pada Eksperimen 16

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [155^2 + 159^2 + 156,9^2] \right] = -43,917$$

Pada Eksperimen 17

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [145,7^2 + 141,7^2 + 150,2^2] \right] = -43,282$$

Pada Eksperimen 18

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} [134,9^2 + 124,9^2 + 128,9^2] \right] = -42,254$$

Lampiran 7 : Rasio S/N Kuat Tekan

Menggunakan rumus persamaan *Larger the better* (semakin besar maka semakin baik):

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$$

Pada Eksperimen 1

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{13,154^2} + \frac{1}{12,338^2} + \frac{1}{13,970^2} \right] \right] = 22,348$$

Pada Eksperimen 2

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{3,355^2} + \frac{1}{6,526^2} + \frac{1}{7,362^2} \right] \right] = 13,606$$

Pada Eksperimen 3

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{4,150^2} + \frac{1}{8,249^2} + \frac{1}{13,868^2} \right] \right] = 15,852$$

Pada Eksperimen 4

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{8,678^2} + \frac{1}{9,024^2} + \frac{1}{16,723^2} \right] \right] = 20,127$$

Pada Eksperimen 5

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{14,990^2} + \frac{1}{9,371^2} + \frac{1}{13,664^2} \right] \right] = 21,509$$

Pada Eksperimen 6

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{53,636^2} + \frac{1}{65,873^2} + \frac{1}{46,702^2} \right] \right] = 34,615$$

Pada Eksperimen 7

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{8,035^2} + \frac{1}{14,480^2} + \frac{1}{35,587^2} \right] \right] = 21,539$$

Pada Eksperimen 8

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{9,432^2} + \frac{1}{15,092^2} + \frac{1}{21,822^2} \right] \right] = 22,284$$

Pada Eksperimen 9

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left[\frac{1}{5,873^2} + \frac{1}{17,743^2} + \frac{1}{4,660^2} \right] \right] = 15,838$$

Pada Eksperimen 10

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \frac{1}{75,968^2} + \frac{1}{4,048^2} + \frac{1}{11,115^2} \right] = 16,364$$

Pada Eksperimen 11

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \frac{1}{16,927^2} + \frac{1}{8,198^2} + \frac{1}{2,529^2} \right] = 12,348$$

Pada Eksperimen 12

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \frac{1}{1,050^2} + \frac{1}{5,537^2} + \frac{1}{4,364^2} \right] = 12,320$$

Pada Eksperimen 13

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \frac{1}{4,038^2} + \frac{1}{1,621^2} + \frac{1}{3,803^2} \right] = 7,687$$

Pada Eksperimen 14

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \frac{1}{12,644^2} + \frac{1}{4,303^2} + \frac{1}{13,970^2} \right] = 16,616$$

Pada Eksperimen 15

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \frac{1}{13,154^2} + \frac{1}{12,848^2} + \frac{1}{8,861^2} \right] = 20,866$$

Pada Eksperimen 16

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \frac{1}{13,052^2} + \frac{1}{8,545^2} + \frac{1}{12,746^2} \right] = 19,552$$

Pada Eksperimen 17

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \frac{1}{4,415^2} + \frac{1}{11,625^2} + \frac{1}{7,607^2} \right] = 15,964$$

Pada Eksperimen 18

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{3} \frac{1}{11,319^2} + \frac{1}{4,650^2} + \frac{1}{19,884^2} \right] = 15,964$$

Lampiran 8 : Normalisasi Rasio S/N Daya Serap Air

Menggunakan rumus persamaan *Smaller the better* (semakin kecil maka semakin baik):

$$x_i(k) = \frac{\text{maks}(n_{i(k)}) - n_{i(k)}}{\text{maks}(n_{i(k)}) - \text{min}(n_{i(k)})}$$

Pada Eksperimen 1

$$X_i(1)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-26.234)}{-17.993 - (-26.234)} = 1$$

Pada Eksperimen 2

$$X_i(2)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-25.516)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,913$$

Pada Eksperimen 3

$$X_i(3)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-22.685)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,569$$

Pada Eksperimen 4

$$X_i(4)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-25.876)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,957$$

Pada Eksperimen 5

$$X_i(5)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-25.151)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,869$$

Pada Eksperimen 6

$$X_i(6)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-21.390)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,412$$

Pada Eksperimen 7

$$X_i(7)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-24.867)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,834$$

Pada Eksperimen 8

$$X_i(8)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-23,908)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,718$$

Pada Eksperimen 9

$$X_i(9)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-20,912)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,354$$

Pada Eksperimen 10

$$X_i(10)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-25,722)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,938$$

Pada Eksperimen 11

$$X_i(11)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-23,765)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,700$$

Pada Eksperimen 12

$$X_i(12)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-21,358)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,408$$

Pada Eksperimen 13

$$X_i(13)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-24,005)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,729$$

Pada Eksperimen 14

$$X_i(14)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-22,985)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,606$$

Pada Eksperimen 15

$$X_i(15)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-20,692)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,327$$

Pada Eksperimen 16

$$X_i(16)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-23,930)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,720$$

Pada Eksperimen 17

$$X_i(17)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-22,220)}{-17.993 - (-26.234)} = 0,513$$

Pada Eksperimen 18

$$X_i(18)_{\text{sksb}} = \frac{-17.993 - (-17,993)}{-17.993 - (-26.234)} = 0$$



Lampiran 9 : Normalisasi Rasio S/N Daya Serap Panas

Menggunakan rumus persamaan *Smaller the better* (semakin kecil maka semakin baik):

$$x_i(k) = \frac{\text{maks}(n_{i(k)}) - n_{i(k)}}{\text{maks}(n_{i(k)}) - \text{min}(n_{i(k)})}$$

Pada Eksperimen 1

$$X_{i(1)}_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-47,578)}{-42,254 - (-47,578)} = 1$$

Pada Eksperimen 2

$$X_{i(2)}_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-47,237)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,936$$

Pada Eksperimen 3

$$X_{i(3)}_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-46,807)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,855$$

Pada Eksperimen 4

$$X_{i(4)}_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-46,679)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,831$$

Pada Eksperimen 5

$$X_{i(5)}_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-46,487)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,795$$

Pada Eksperimen 6

$$X_{i(6)}_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-46,172)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,736$$

Pada Eksperimen 7

$$X_{i(7)}_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-45,400)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,591$$

Pada Eksperimen 8

$$X_{i(8)}_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-45,014)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,518$$

Pada Eksperimen 9

$$X_{i(9)}_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-44,440)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,411$$

Pada Eksperimen 10

$$X_i(10)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-46,741)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,843$$

Pada Eksperimen 11

$$X_i(11)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-46,438)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,786$$

Pada Eksperimen 12

$$X_i(12)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-45,992)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,702$$

Pada Eksperimen 13

$$X_i(13)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-45,644)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,637$$

Pada Eksperimen 14

$$X_i(14)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-45,324)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,577$$

Pada Eksperimen 15

$$X_i(15)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-44,961)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,508$$

Pada Eksperimen 16

$$X_i(16)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-43,917)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,312$$

Pada Eksperimen 17

$$X_i(17)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-43,282)}{-42,254 - (-47,578)} = 0,193$$

Pada Eksperimen 18

$$X_i(18)_{\text{sksb}} = \frac{-42,254 - (-42,254)}{-42,254 - (-47,578)} = 0$$

Lampiran 10 : Normalisasi Rasio S/N Kuat Tekan

Menggunakan rumus persamaan *Larger the better* (semakin besar maka semakin baik):

$$x_i(k) = \frac{n_{i(k)} - \min(n_{i(k)})}{\max(n_{i(k)}) - \min(n_{i(k)})}$$

Pada Eksperimen 1

$$X_{i(1)}_{\text{sksb}} = \frac{22,348 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,544$$

Pada Eksperimen 2

$$X_{i(2)}_{\text{sksb}} = \frac{13,606 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,220$$

Pada Eksperimen 3

$$X_{i(3)}_{\text{sksb}} = \frac{15,852 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,303$$

Pada Eksperimen 4

$$X_{i(4)}_{\text{sksb}} = \frac{20,127 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,462$$

Pada Eksperimen 5

$$X_{i(5)}_{\text{sksb}} = \frac{21,509 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,513$$

Pada Eksperimen 6

$$X_{i(6)}_{\text{sksb}} = \frac{34,615 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 1$$

Pada Eksperimen 7

$$X_{i(7)}_{\text{sksb}} = \frac{21,539 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,514$$

Pada Eksperimen 8

$$X_{i(8)}_{\text{sksb}} = \frac{22,284 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,542$$

Pada Eksperimen 9

$$X_{i(9)}_{\text{sksb}} = \frac{15,838 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,303$$

Pada Eksperimen 10

$$X_{i(10)}_{\text{sksb}} = \frac{16,364 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,322$$

Pada Eksperimen 11

$$Xi(11)_{sksb} = \frac{12,348 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,173$$

Pada Eksperimen 12

$$Xi(12)_{sksb} = \frac{12,320 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,172$$

Pada Eksperimen 13

$$Xi(13)_{sksb} = \frac{7,687 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0$$

Pada Eksperimen 14

$$Xi(14)_{sksb} = \frac{16,616 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,332$$

Pada Eksperimen 15

$$Xi(15)_{sksb} = \frac{20,866 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,489$$

Pada Eksperimen 16

$$Xi(16)_{sksb} = \frac{19,552 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,441$$

Pada Eksperimen 17

$$Xi(17)_{sksb} = \frac{15,964 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,307$$

Pada Eksperimen 18

$$Xi(18)_{sksb} = \frac{17,242 - (7,687)}{34,615 - (7,687)} = 0,355$$

Lampiran 11 : Hitungan Konversi Nilai Xi(K) Ke GRC dan Hitungan GRG Daya Serap Air

Menggunakan persamaan:

$$\Delta_{0,1}(k) = |X_0(k) - X_i^*(k)|$$

$$\mathcal{E}_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \dot{\epsilon} \times \Delta_{max}}{\Delta_{0,1}(k) + \dot{\epsilon} \times \Delta_{max}}$$

Pada Eksperimen 1

$$\Delta_{oi}(1) = \|1-1\| = 0$$

$$\mathcal{E}_i(1) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0 + 0,5 \times 1} = 1$$

Pada Eksperimen 2

$$\Delta_{oi}(2) = \|1-0,913\| = 0,087$$

$$\mathcal{E}_i(2) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,087 + 0,5 \times 1} = 0,852$$

Pada Eksperimen 3

$$\Delta_{oi}(3) = \|1-0,569\| = 0,431$$

$$\mathcal{E}_i(3) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,431 + 0,5 \times 1} = 0,537$$

Pada Eksperimen 4

$$\Delta_{oi}(4) = \|1-0,957\| = 0,043$$

$$\mathcal{E}_i(4) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,043 + 0,5 \times 1} = 0,920$$

Pada Eksperimen 5

$$\Delta_{oi}(5) = \|1-0,869\| = 0,131$$

$$\mathcal{E}_i(5) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,131 + 0,5 \times 1} = 0,792$$

Pada Eksperimen 6

$$\Delta_{oi}(6) = \|1-0,412\| = 0,588$$

$$\mathcal{E}_i(6) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,588 + 0,5 \times 1} = 0,460$$

Pada Eksperimen 7

$$\Delta oi(7) = \|1-0,834\| = 0,166$$

$$\mathcal{E} i(7) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,166 + 0,5 \times 1} = 0,751$$

Pada Eksperimen 8

$$\Delta oi(8) = \|1-0,718\| = 0,282$$

$$\mathcal{E} i(8) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,282 + 0,5 \times 1} = 0,639$$

Pada Eksperimen 9

$$\Delta oi(9) = \|1-0,354\| = 0,646$$

$$\mathcal{E} i(9) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,646 + 0,5 \times 1} = 0,436$$

Pada Eksperimen 10

$$\Delta oi(10) = \|1-0,938\| = 0,062$$

$$\mathcal{E} i(10) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,062 + 0,5 \times 1} = 0,889$$

Pada Eksperimen 11

$$\Delta oi(11) = \|1-0,700\| = 0,300$$

$$\mathcal{E} i(11) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,300 + 0,5 \times 1} = 0,625$$

Pada Eksperimen 12

$$\Delta oi(12) = \|1-0,408\| = 0,592$$

$$\mathcal{E} i(12) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,592 + 0,5 \times 1} = 0,458$$

Pada Eksperimen 13

$$\Delta oi(13) = \|1-0,729\| = 0,270$$

$$\mathcal{E} i(13) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,270 + 0,5 \times 1} = 0,649$$

Pada Eksperimen 14

$$\Delta oi(14) = \|1-0,606\| = 0,394$$

$$\mathcal{E} i(14) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,394 + 0,5 \times 1} = 0,559$$

Pada Eksperimen 15

$$\Delta oi(15) = \|1-0,327\| = 0,672$$

$$\mathcal{E} i(15) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,672 + 0,5 \times 1} = 0,426$$

Pada Eksperimen 16

$$\Delta_{oi}(16) = \|1-0,720\| = 0,280$$

$$\mathcal{E}_i(16) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,280 + 0,5 \times 1} = 0,641$$

Pada Eksperimen 17

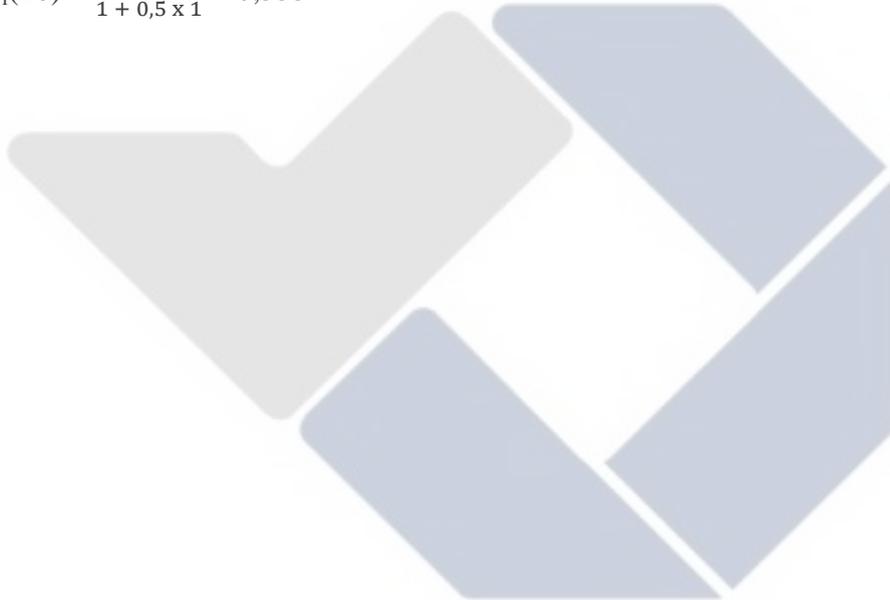
$$\Delta_{oi}(17) = \|1-0,513\| = 0,488$$

$$\mathcal{E}_i(17) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,488 + 0,5 \times 1} = 0,506$$

Pada Eksperimen 18

$$\Delta_{oi}(18) = \|1-0\| = 1$$

$$\mathcal{E}_i(18) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{1 + 0,5 \times 1} = 0,333$$



Lampiran 12 : Hitungan Konversi Nilai Xi(K) Ke GRC dan Hitungan GRG Daya Serap Panas

Menggunakan persamaan:

$$\Delta_{0,1}(k) = |X_0(k) - X_i^*(k)|$$

$$\mathcal{E}_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \dot{\epsilon} \times \Delta_{max}}{\Delta_{0,1}(k) + \dot{\epsilon} \times \Delta_{max}}$$

Pada Eksperimen 1

$$\Delta_{oi}(1) = ||1-1|| = 0$$

$$\mathcal{E}_i(1) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0 + 0,5 \times 1} = 1$$

Pada Eksperimen 2

$$\Delta_{oi}(2) = ||1-0,936|| = 0,064$$

$$\mathcal{E}_i(2) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,064 + 0,5 \times 1} = 0,886$$

Pada Eksperimen 3

$$\Delta_{oi}(3) = ||1-0,855|| = 0,145$$

$$\mathcal{E}_i(3) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,145 + 0,5 \times 1} = 0,775$$

Pada Eksperimen 4

$$\Delta_{oi}(4) = ||1-0,831|| = 0,169$$

$$\mathcal{E}_i(4) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,169 + 0,5 \times 1} = 0,747$$

Pada Eksperimen 5

$$\Delta_{oi}(5) = ||1-0,795|| = 0,205$$

$$\mathcal{E}_i(5) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,205 + 0,5 \times 1} = 0,709$$

Pada Eksperimen 6

$$\Delta_{oi}(6) = ||1-0,736|| = 0,264$$

$$\mathcal{E}_i(6) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,264 + 0,5 \times 1} = 0,654$$

Pada Eksperimen 7

$$\Delta oi(7) = \|1-0,591\| = 0,409$$

$$\mathcal{E} i(7) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,409 + 0,5 \times 1} = 0,550$$

Pada Eksperimen 8

$$\Delta oi(8) = \|1-0,518\| = 0,482$$

$$\mathcal{E} i(8) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,482 + 0,5 \times 1} = 0,509$$

Pada Eksperimen 9

$$\Delta oi(9) = \|1-0,411\| = 0,589$$

$$\mathcal{E} i(9) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,589 + 0,5 \times 1} = 0,459$$

Pada Eksperimen 10

$$\Delta oi(10) = \|1-0,843\| = 0,157$$

$$\mathcal{E} i(10) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,157 + 0,5 \times 1} = 0,761$$

Pada Eksperimen 11

$$\Delta oi(11) = \|1-0,786\| = 0,214$$

$$\mathcal{E} i(11) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,214 + 0,5 \times 1} = 0,700$$

Pada Eksperimen 12

$$\Delta oi(12) = \|1-0,702\| = 0,298$$

$$\mathcal{E} i(12) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,298 + 0,5 \times 1} = 0,627$$

Pada Eksperimen 13

$$\Delta oi(13) = \|1-0,637\| = 0,363$$

$$\mathcal{E} i(13) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,363 + 0,5 \times 1} = 0,579$$

Pada Eksperimen 14

$$\Delta oi(14) = \|1-0,577\| = 0,423$$

$$\mathcal{E} i(14) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,423 + 0,5 \times 1} = 0,541$$

Pada Eksperimen 15

$$\Delta oi(15) = \|1-0,508\| = 0,491$$

$$\mathcal{E} i(15) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,491 + 0,5 \times 1} = 0,504$$

Pada Eksperimen 16

$$\Delta oi(16) = \|1-0,312\| = 0,688$$

$$\mathcal{E} i(16) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,688 + 0,5 \times 1} = 0,421$$

Pada Eksperimen 17

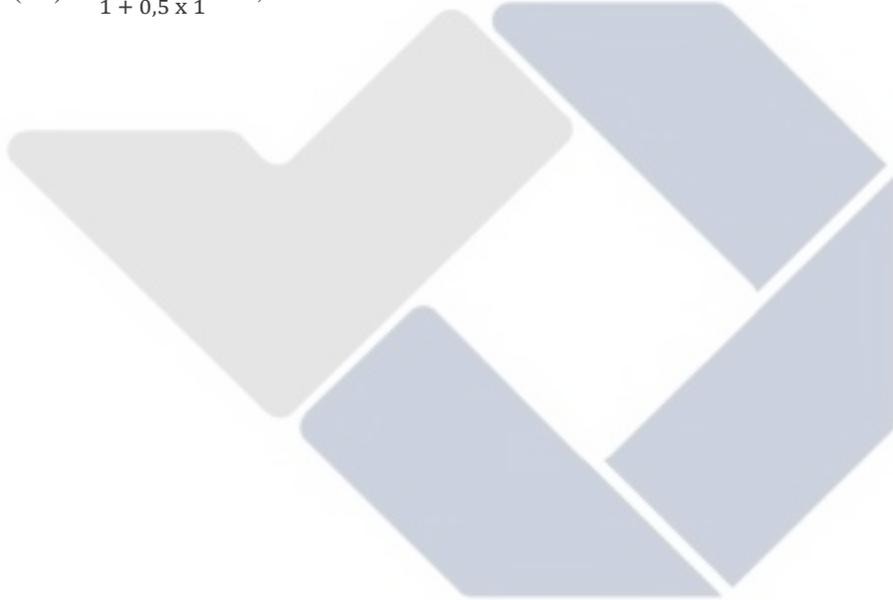
$$\Delta oi(17) = \|1-0,193\| = 0,807$$

$$\mathcal{E} i(17) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,807 + 0,5 \times 1} = 0,383$$

Pada Eksperimen 18

$$\Delta oi(18) = \|1-0\| = 1$$

$$\mathcal{E} i(18) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{1 + 0,5 \times 1} = 0,333$$



Lampiran 13 : Hitungan Konversi Nilai Xi(K) Ke GRC dan Hitungan GRG Kuat Tekan

Menggunakan persamaan:

$$\Delta_{0,1}(k) = |X_0(k) - X_i^*(k)|$$

$$\mathcal{E}_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \dot{\epsilon} \times \Delta_{max}}{\Delta_{0,1}(k) + \dot{\epsilon} \times \Delta_{max}}$$

Pada Eksperimen 1

$$\Delta_{oi}(1) = ||1 - 0,544|| = 0,455$$

$$\mathcal{E}_i(1) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,455 + 0,5 \times 1} = 0,523$$

Pada Eksperimen 2

$$\Delta_{oi}(2) = ||1 - 0,220|| = 0,780$$

$$\mathcal{E}_i(2) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,780 + 0,5 \times 1} = 0,391$$

Pada Eksperimen 3

$$\Delta_{oi}(3) = ||1 - 0,303|| = 0,697$$

$$\mathcal{E}_i(3) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,697 + 0,5 \times 1} = 0,418$$

Pada Eksperimen 4

$$\Delta_{oi}(4) = ||1 - 0,462|| = 0,538$$

$$\mathcal{E}_i(4) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,538 + 0,5 \times 1} = 0,482$$

Pada Eksperimen 5

$$\Delta_{oi}(5) = ||1 - 0,513|| = 0,487$$

$$\mathcal{E}_i(5) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,487 + 0,5 \times 1} = 0,507$$

Pada Eksperimen 6

$$\Delta_{oi}(6) = ||1 - 1|| = 0$$

$$\mathcal{E}_i(6) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0 + 0,5 \times 1} = 1$$

Pada Eksperimen 7

$$\Delta oi(7) = \|1-0,514\| = 0,486$$

$$\mathcal{E} i(7) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,486 + 0,5 \times 1} = 0,507$$

Pada Eksperimen 8

$$\Delta oi(8) = \|1-0,542\| = 0,458$$

$$\mathcal{E} i(8) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,458 + 0,5 \times 1} = 0,522$$

Pada Eksperimen 9

$$\Delta oi(9) = \|1-0,303\| = 0,697$$

$$\mathcal{E} i(9) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,697 + 0,5 \times 1} = 0,418$$

Pada Eksperimen 10

$$\Delta oi(10) = \|1-0,322\| = 0,678$$

$$\mathcal{E} i(10) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,678 + 0,5 \times 1} = 0,424$$

Pada Eksperimen 11

$$\Delta oi(11) = \|1-0,173\| = 0,827$$

$$\mathcal{E} i(11) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,827 + 0,5 \times 1} = 0,377$$

Pada Eksperimen 12

$$\Delta oi(12) = \|1-0,172\| = 0,828$$

$$\mathcal{E} i(12) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,828 + 0,5 \times 1} = 0,376$$

Pada Eksperimen 13

$$\Delta oi(13) = \|1-0\| = 1$$

$$\mathcal{E} i(13) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{1 + 0,5 \times 1} = 0,333$$

Pada Eksperimen 14

$$\Delta oi(14) = \|1-0,332\| = 0,668$$

$$\mathcal{E} i(14) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,668 + 0,5 \times 1} = 0,428$$

Pada Eksperimen 15

$$\Delta oi(15) = \|1-0,489\| = 0,511$$

$$\mathcal{E} i(15) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,511 + 0,5 \times 1} = 0,495$$

Pada Eksperimen 16

$$\Delta oi(16) = \|1-0,441\| = 0,559$$

$$\mathcal{E} i(16) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,559 + 0,5 \times 1} = 0,472$$

Pada Eksperimen 17

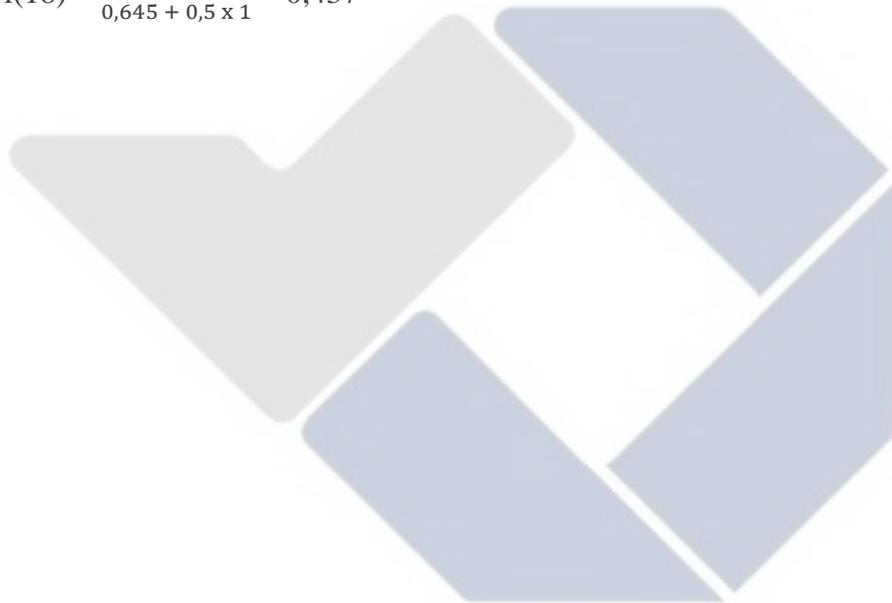
$$\Delta oi(17) = \|1-0,307\| = 0,693$$

$$\mathcal{E} i(17) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,693 + 0,5 \times 1} = 0,419$$

Pada Eksperimen 18

$$\Delta oi(18) = \|1-0,355\| = 0,645$$

$$\mathcal{E} i(18) = \frac{0 + 0,5 \times 1}{0,645 + 0,5 \times 1} = 0,437$$



Lampiran 14 : Hitungan Anava

Perhitungan SS Total

Menggunakan Persamaan:

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Hitungan:

$$\begin{aligned} SS_t &= (0,841-0,577)^2 + (0,709-0,577)^2 + (0,577-0,577)^2 + (0,716-0,577)^2 + (0,669- \\ &0,577)^2 + (0,705-0,577)^2 + (0,603-0,577)^2 + (0,557-0,577)^2 + (0,438-0,577)^2 \\ &+ (0,692-0,577)^2 + (0,567-0,577)^2 + (0,487-0,577)^2 + (0,520-0,577)^2 + \\ &(0,509-0,577)^2 + (0,475-0,577)^2 + (0,511-0,577)^2 + (0,436-0,577)^2 + (0,368- \\ &0,577)^2 \\ &= 0,259 \end{aligned}$$

Perhitungan DF

Menggunakan Persamaan:

$$D_A - 1$$

$$DF_{Foam\ agent}$$

$$2 - 1 = 1$$

$$DF_{Plastik}$$

$$3 - 1 = 2$$

$$DF_{Semen}$$

$$3 - 1 = 2$$

$$DF\ Error$$

$$ab(n-1) = 12$$

Perhitungan Seq SS

Menggunakan Persamaan:

$$SS_A = n_A \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{y})^2$$

Seq SSFoam Agent

$$\begin{aligned} &= 9 \times (0,646 - 0,577)^2 + (0,507 - 0,577)^2 \\ &= 0,087 \end{aligned}$$

Seq SSPlastik

$$\begin{aligned} &= 6 \times (0,646 - 0,577)^2 + (0,599 - 0,577)^2 + (0,485 - 0,577)^2 \\ &= 0,082 \end{aligned}$$

Seq SSSemen

$$\begin{aligned} &= 6 \times (0,647 - 0,577)^2 + (0,575 - 0,577)^2 + (0,508 - 0,577)^2 \\ &= 0,058 \end{aligned}$$

Seq SS Error

Menggunakan persamaan:

$$SSE = SST - SSA - SSB - SSC$$

$$SSE = 0,259 - 0,087 - 0,082 - 0,058$$

$$SSE = 0,032$$

Perhitungan ADJ MS

Menggunakan Persamaan:

$$MS_A = \frac{SS_A}{df_A}$$

$$MS_{\text{foam agent}} = \frac{0,087}{1} = 0,087$$

$$MS_{\text{Plastik}} = \frac{0,082}{2} = 0,041$$

$$MS_{\text{Semen}} = \frac{0,058}{2} = 0,029$$

$$MS_{\text{Error}} = \frac{0,032}{12} = 0,003$$

Perhitungan F Hitung

Menggunakan Persamaan:

$$F_{\text{hitung}} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$FFoam Agent = \frac{0,087}{0,003} = 28,983$$

$$F_{\text{Plastik}} = \frac{0,041}{0,003} = 13,709$$

$$F_{\text{Semen}} = \frac{0,029}{0,003} = 9,665$$



Lampiran 15 : Sampel Daya Serap Air



Sample 1 1



Sample 1 2



Sample 1 3



Sample 2 1



Sample 2 2



Sample 2 3



Sample 3 1



Sample 3 2



Sample 3 3



Sample 4 1



Sample 4 2



Sample 4 2



Sample 5 1



Sample 5 2



Sample 5 3



Sample 6 1



Sample 6 2



Sample 6 3



Sample 7 1



Sample 7 2



Sample 7 3



Sample 8 1



Sample 8 2



Sample 8 3



Sample 9 1



Sample 9 2



Sample 9 3



Sample 10 1



Sample 10 2



Sample 10 3



Sample 11 1



Sample 11 2



Sample 11 3



Sample 12 1



Sample 12 2



Sample 12 3



Sample 13 1



Sample 13 2



Sample 13 3



Sample 14 1



Sample 14 2



Sample 14 3



Sample 15 1



Sample 15 2



Sample 15 3



Sample 16 1



Sample 16 2



Sample 16 3



Sample 17 1



Sample 17 2



Sample 17 3



Sample 18 1



Sample 18 2



Sample 18 3



Lampiran 16 : Sampel Kuat Tekan



Sample 1

Sample 2

Sample 3

Sample 4



Sample 5

Sample 6

Sample 7

Sample 8



Sample 9

Sample 10

Sample 11

Sample 12



Sample 13

Sample 14

Sample 15

Sample 16



Sample 17

Sample 18

Sample 19

Sample 20



Sample 21

Sample 22

Sample 23

Sample 24



Sample 25

Sample 26

Sample 27

Sample 28



Sample 29

Sample 30

Sample 31

Sample 32



Sample 33

Sample 34

Sample 35

Sample 36



Sample 37

Sample 38

Sample 39

Sample 40



Sample 41

Sample 42

Sample 43

Sample 44



Sample 45

Sample 46

Sample 47

Sample 48



Sample 49

Sample 50

Sample 51

Sample 52