

TUGAS AKHIR

PENGARUH LIMBAH ABU SEKAM PADI DAN KAPUR SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON (*THE EFFECT OF RICE HUSK ASH WASTE AND LIME AS A PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT TO CONCRETE CHARACTERISTIC*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Ahya Safira
17511196**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2022**

TUGAS AKHIR

PENGARUH LIMBAH ABU SEKAM PADI DAN KAPUR SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON (THE EFFECT OF RICE HUSK ASH WASTE AND LIME AS A PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT TO CONCRETE CHARACTERISTIC)

Disusun oleh

Ahya Safira
17 511 196

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat

Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 18 April 2022

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I

Astriana Hardawati S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

Penguji I

Hariyadi Yulianto, S.T., M.Eng.
NIK: 155111305

Penguji II

Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.
NIK: 185111304

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Sri Amini Yuni Astuti, Dr. Ir., M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 5 November 2021

Yang membuat pernyataan



Ahya Safira

(17511196)

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Diwajibkan atas kamu berperang, padahal itu tidak menyenangkan bagimu. Tetapi boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.”

(Q.S. Al Baqarah : 216)

“Jadilah seperti bunga yang memberikan keharuman bahkan kepada tangan yang telah merusaknya.”

(Ali bin Abi Thalib)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah rabbil'alamin Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat beserta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Limbah Abu Sekan Padi dan Kapur Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Karakteristik Beton”, sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi tingkat sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing dan membantu dalam pelaksanaan penelitian sampai penyusunan Tugas Akhir, yaitu:

1. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis.
3. Bapak Hariyadi Yulianto, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji I Tugas Akhir.
4. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku dosen penguji II Tugas Akhir.
5. Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng. selaku kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik.
6. Bapak Darussalan dan bapak Suwarno, selaku asisten Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik.
7. Bapak Haryanto, Ibu Ratri Dwi dan Dr. Laila Rahmawati, STP yang selalu memberikan semangat, kasih sayang, doa, serta nasehatnya sehingga penulis dapat menyusun Tugas Akhir berjalan lancar.
8. Denis Trahmi, Dewi Masitoh dan Zakiyatul Mufarrihah yang selalu memberikan semangat dan menjadi tempat keluh kesah penulis.
9. Varit Henry S.T yang telah memberikan masukan dan ilmunya.

10. Ridwan, Anak-anak Akatsuki, Ikmal, Dikky, Panji, Kenken, Dika, Radit, Denni dan lainnya atas bantuan, waktu dan tenaga yang telah diluangkan untuk membantu pelaksanaan penelitian.
11. Laboratorium DPUPKP Kabupaten Sleman yang telah memberikan material kepada penulis.
12. Teman-teman Teknik Sipil 2017 yang telah berjuang bersama-sama.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat kekurangan, sehingga perlu adanya kritik dan saran yang membangun bagi penulis. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan tambahan wawasan bagi pihak yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 5 November 2021

Penulis,

Ahya Safira

17511196

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Perbedaan Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Beton	12
3.2 Material Penyusun Beton	13
3.2.1 Agregat	13
3.2.2 Air	15

3.2.3	Semen	16
3.3	Bahan Modifikasi	18
3.3.1	Abu Sekam Padi	18
3.3.2	Kapur	20
3.4	Perencanaan Campuran Beton (Mix design)	23
3.5	Pengujian Beton	31
3.5.1	Pengujian Beton Segar	31
3.5.2	Pengujian Beton Keras	32
BAB IV METODE PENELITIAN		36
4.1	Umum	36
4.2	Lokasi Penelitian	36
4.3	Benda Uji	36
4.4	Bahan dan peralatan penelitian	37
4.4.1	Bahan	37
4.4.2	Alat	38
4.5	Pelaksanaan Penelitian	40
4.5.1	Persiapan	40
4.5.2	Pengujian Bahan Penyusun Beton	40
4.5.3	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	43
4.5.4	Pembuatan Benda Uji	44
4.5.5	Perawatan Benda Uji	45
4.5.6	Pengujian Benda Uji	45
4.5.7	Analisa Hasil Penelitian	46
4.5.8	Pembahasan	47
4.5.9	Kesimpulan dan Saran	47
4.6	Alur Penelitian	48
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		50
5.1	Hasil Pengujian Agregat	50
5.1.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	50
5.1.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	54
5.2	Hasil Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	58

5.3	Hasil Pengujian Beton	68
5.3.1	Hasil Pengujian Slump	68
5.3.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	69
5.3.3	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	73
5.3.4	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	75
5.4	Pembahasan Secara Keseluruhan	80
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	86
6.1	Kesimpulan	86
6.2	Saran	86
	DAFTAR PUSTAKA	88
	LAMPIRAN	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis	7
Tabel 3. 1 Persyaratan Batas Agregat Kasar	14
Tabel 3. 2 Batas Gradasi Pasir	15
Tabel 3. 3 Kandungan Kimia Abu Sekam Padi	19
Tabel 3. 4 Karakteristik Kapur	22
Tabel 3. 5 Faktor Pengali Deviasi Standar	24
Tabel 3. 6 Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan $f_{as} = 0,5$	25
Tabel 3. 7 Perkiraan Kadar Air Bebas	26
Tabel 3.8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan f_{as} Maksimum dalam Lingkungan Khusus	27
Tabel 4. 1 Rincian Sampel Benda Uji	37
Tabel 4. 2 Alat untuk Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton	38
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	50
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	51
Tabel 5. 3 Daerah Gradasi Agregat Halus	52
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	53
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	53
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No 200 Agregat Halus	54
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	55
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	55
Tabel 5. 9 Daerah Gradasi Agregat Kasar	57
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	58
Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	58
Tabel 5. 12 Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan $f_{as} = 0,5$	59
Tabel 5. 13 Perkiraan Kadar Air Bebas	61
Tabel 5. 14 Hasil Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton (Mix Design)	66
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Kebutuhan Campuran Beton dengan Abu Sekam Padi dan Kapur	67

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Slump	68
Tabel 5. 17 Hasil Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan	70
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	73
Tabel 5. 19 Hasil Tegangan dan Regangan pada Variasi A-7,5 (1)	76
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan Kadar Kapur A%	78
Tabel 5. 21 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Modulus Elastisitas Beton (SNI 2847-2013)	79
Tabel 5. 22 Hasil Rekapitulasi Pengujian Benda Uji	81
Tabel 5. 23 Hasil Rekapitulasi Persentase Perubahan Pengujian	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Abu Sekam Padi	18
Gambar 3. 2 Kapur	20
Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen Sumber: SNI 03-2834-2000	25
Gambar 3. 4 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Total untuk Ukuran Butiran Maksimum 10 mm	28
Gambar 3. 5 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Total untuk Ukuran Butiran Maksimum 20 mm	29
Gambar 3. 6 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Total untuk Ukuran Butiran Maksimum 40 mm	29
Gambar 3. 7 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah Selesai Dipadatkan	30
Gambar 3. 8 Sketsa Bentuk Kehancuran Pada Benda Uji Kuat Tekan Beton	33
Gambar 3. 9 Sketsa Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah	34
Gambar 3. 10 Sketsa Benda Uji dan Alat Kompresometer pada Pengujian Modulus Elastisitas	35
Gambar 4. 1 Sketsa Benda Uji Silinder	36
Gambar 4. 2 Pembacaan Nilai Slump	44
Gambar 4. 3 Diagram Alir Penelitian	49
Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah I	52
Gambar 5. 2 Grafik Gradasi Agregat Kasar	57
Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen Sumber: SNI 03-2834-2000	60
Gambar 5. 4 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Total untuk Ukuran Butiran Maksimum 20 mm	62
Gambar 5. 5 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah Selesai Dipadatkan	63
Gambar 5. 6 Grafik Hasil Pengujian Slump	69
Gambar 5. 7 Grafik Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton	71

Gambar 5. 8 Grafik Kuat Tekan dengan Persentase Berbeda dari RHA	72
Gambar 5. 9 Grafik Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	75
Gambar 5. 10 Grafik Tegangan dan Regangan pada Variasi A-7,5 (1)	77
Gambar 5. 11 Hasil Rekapitulasi Modulus Elastisitas Beton ASTM C-469	78
Gambar 5. 12 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas ASTM C469 dan SNI 2847- 2013	80
Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Hasil Seluruh Pengujian Terhadap BN 0%	82

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Agregat	90
Lampiran 2 Hasil Pengujian Beton Keras	104
Lampiran 3 Gambar Bahan yang Digunakan	113
Lampiran 4 Gambar Hasil Pengujian Beton	118

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas tampang, mm^2
f'_c	= Kuat desak beton, MPa
σ	= Tegangan, (N/mm^2)
ε	= Regangan
E_c	= Modulus elastis beton, MPa
L	= Panjang benda uji, mm
P	= Beban maksimum, N
D	= Diameter benda uji, mm
M	= Margin, MPa
k	= Deviasi standar
f'_{cr}	= kuat tekan rata-rata yang direncanakan, MPa
S_r	= Deviasi standar rencana
W_{air}	= Kadar air bebas
W_{ah}	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus
W_{ak}	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar
W_{pc}	= Berat Semen
W_c	= Berat isi beton, kg/m^3
Fas	= Faktor air semen
BJ_{AG}	= Berat jenis agregat gabungan
BJ_{AH}	= Berat jenis agregat halus
BJ_{AK}	= Berat jenis agregat kasar
% AH	= Prosentase agregat halus
% AK	= Prosentase agregat kasar

ABSTRAK

Perkembangan teknologi beton dalam sektor konstruksi meningkat seiring dengan tuntutan kebutuhan. Saat ini, para ahli lingkungan banyak menyoroti penggunaan semen sebagai bahan beton karena tingginya penggunaan energi dalam proses produksi yang menyebabkan emisi CO₂ yang mempengaruhi perubahan iklim. Untuk mencegah dampak tersebut, dibuatlah alternatif dilakukan untuk mengurangi jumlah penggunaan semen dalam pembuatan beton dengan menggunakan bahan-bahan yang ramah lingkungan, seperti limbah abu sekam padi dan kapur. Mengandung senyawa SiO₂ yang tergolong dalam pozzolan reaktif yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh karakteristik beton dan mengidentifikasi persentase tertinggi abu sekam padi dan kapur yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen dengan menguji kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan modulus elastisitas. Metode yang digunakan mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan variasi abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen masing-masing 7,5%, 10%, dan 12,5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu sekam padi dan kapur tidak dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen. Nilai kuat tekan beton kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton tertinggi terjadi pada kadar 7,5% abu sekam padi dan 7,5% kapur sebesar 22,12 MPa, 1,87 MPa dan 24073.55 MPa.

Kata Kunci: *Semen, Abu Sekam Padi, Kapur dan Karakteristik Beton*

ABSTRACT

The development of concrete technology in the construction sector is increasing in line with the demands of the needs. Nowadays, environmental experts are highlighting the use of cement as a concrete material due to the high energy use in the production process which causes CO₂ emissions that affect climate change. To prevent the negative impacts, innovations were made to reduce the amount of cement used in concrete manufacture by using environmentally friendly materials, such as rice husk ash and lime waste. They are containing SiO₂ elements which are classified as reactive pozzolans that can be used as partial replacement materials for cement. The aim of this study was to determine the effect of concrete characteristics and to identify the optimum value of rice husk ash and lime used as a partial replacement of cement by testing the compressive strength of concrete, split tensile strength of concrete, and modulus of elasticity. The method used refers to SNI 03-2834-2000 with variations of rice husk ash and lime as a partial replacement for cement 7.5%, 10%, and 12.5%, respectively. The results showed that rice husk ash and lime could not be used as a substitute for cement. The value of the compressive strength of concrete, the highest split tensile strength and modulus of elasticity of concrete occurred at levels of 7.5% rice husk ash and 7.5% lime at 22.12 MPa, 1.87 MPa, and 24073.55 MPa respectively.

Keywords: Cement, Rice Husk Ash, Lime, and Concrete Characteristics

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan sektor konstruksi di Indonesia saat ini semakin meningkat. Menurut Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional Atau Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (PPN/Bappenas) juga memperkirakan bahwa pada tahun 2021 industri konstruksi akan mengalami pertumbuhan sebesar 5,2% hingga sampai dengan 6,7%. Meskipun pemulihan pasar konstruksi berjalan tidak signifikan, namun masih ada peluang pada proyek pembangunan gedung pada tahun 2021. Pembangunan gedung diperkirakan meningkat Rp 197,80 triliun pada tahun 2021 yang didukung oleh pertumbuhan sektor infrastruktur yang akan terus menjadi sektor unggulan dalam pemulihan perekonomian. Melalui sektor konstruksi, beberapa produk infrastruktur dapat dihasilkan seperti jalan, bangunan tempat tinggal, gedung, pabrik, jembatan, bendungan, serta sarana sosial dan publik lainnya. Semua sarana yang terbangun dari aktivitas sektor konstruksi di Indonesia mengharuskan menggunakan bahan bangunan yang mempunyai kualitas tinggi salah satunya beton. Menurut Munaf (2012), kinerja dan sifat dari akhir beton dicirikan dengan memiliki *higher strength, more durable, fire resistance, water retention, sound insulation, thermal insulation, electric resistivity*, serta *abrasion resistance*.

Perkembangan teknologi beton dalam sektor konstruksi meningkat seiring dengan tuntutan kebutuhan akan beton yang kuat, mampu bersaing dengan bahan lain serta dapat menahan beban yang membentang dengan jarak yang lebih panjang. Namun dengan meningkatnya kebutuhan beton membuat produksi semen semakin meningkat. Saat ini, ahli lingkungan banyak menyoroti tentang penggunaan semen sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton. Tingginya penggunaan semen memiliki potensi pencemaran lingkungan karena penggunaan sumber daya alam yang besar (Lestari, 2010). Beberapa penelitian menyebutkan bahwa penggunaan energi yang tinggi dalam proses produksi dapat semen menyebabkan emisi udara

terutama emisi CO₂ yang berpengaruh pada perubahan iklim (Guereca *et al.*, 2012; Stafford 2015). Hal tersebut selaras dengan penelitian sebelumnya (Hasanbeigi *et al.*, 2012; Reza *et al.*, 2013; Stafford *et al.*, 2015) bahwa industri semen dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi menyumbang sekitar 5-7% emisi CO₂ di dunia. Usaha untuk mencegah dampak negatif ke lingkungan, terdapat beberapa inovasi telah banyak dilakukan untuk mengganti atau mengurangi jumlah penggunaan semen dalam pembuatan beton. Salah satu inovasi untuk mengurangi penggunaan semen pada campuran beton yaitu dengan menggunakan bahan yang bersifat ramah lingkungan.

Penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan diantaranya oleh Salwatul (2017), abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*risk husk ash*), ampas tebu, cangkang telur dan lain – lain, yang banyak mengandung silikon dan aluminium telah digunakan dalam material alternatif ramah lingkungan pengganti semen sebagai bahan pengikat. Penelitian tersebut selaras dengan Ghosal *et al.*, (2015) bahwa abu sekam padi didapatkan dari pembakaran sekam padi dengan suhu di antara 600 °C - 700°C selama 2 jam akan menghasilkan abu yang memiliki kandungan 90-95% SiO₂, 1-3% K₂O dan <5% karbon tidak terbakar. Berdasarkan kandungan tersebut maka abu sekam padi tergolong *pozzolan* reaktif karena mengandung senyawa silika (SiO₂) lebih dari 70%. Menurut Tjokrodinuljo (1992), sifat mengikat seperti semen tidak dimiliki *pozzolan* namun jika partikel yang dihasilkan halus kemudian bereaksi dengan air dan kapur pada suhu normal maka akan menjadi kuat yang tidak dapat larut dalam air. *Pozzolan* tersebut dapat mengisi rongga dalam beton dan membentuk ikatan C-H-S yang membutuhkan energi tinggi untuk memutus ikatan tersebut (Srinivasreddy, 2013), sehingga ukuran partikel abu sekam padi dapat meningkatkan kuat tekan beton dan mempengaruhi kelecakan beton (*workability*). Dari beberapa literatur pendukung tersebut, maka penelitian ini menggunakan abu sekam padi sebagai salah satu bahan pengganti semen dalam pembuatan campuran beton.

Kombinasi bahan pengganti lainnya adalah kapur. Kapur menjadi alternatif pilihan karena kapur mengandung senyawa silika (SiO₂), kalsium karbonat (CaCO₃) dan kalsium oksida (CaO), di mana komponen tersebut hampir sama

dengan kandungan di dalam semen. Selain itu, kapur mempunyai sifat yang mudah mengeras dan menghasilkan rekatan kuat sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton. Penelitian yang akan dilakukan ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton. Karakteristik beton yang ditinjau pada penelitian ini yaitu sifat mekanik beton, yang bertujuan untuk mengetahui kualitas beton yang dihasilkan dengan melakukan pengujian kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas. Diharapkan dengan adanya bahan kombinasi antara abu sekam dan kapur sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton dapat menghasilkan produk beton yang memiliki kualitas relatif sama dengan menggunakan semen, serta lebih ramah lingkungan dan biaya proses konstruksi menjadi relatif lebih rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka penelitian ini dapat diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton?
2. Berapakah persentase penggunaan abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen untuk mendapatkan karakteristik beton terbaik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. pengaruh abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton dan
2. persentase abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen untuk mendapatkan karakteristik beton terbaik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu berkontribusi terhadap perkembangan teknologi beton yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah abu sekam

dan kapur sebagai alternatif pengganti sebagian semen yang diharapkan memberikan kualitas yang relatif sama dengan beton normal.

1.5 Batasan Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas berikut merupakan batasan penelitian.

1. Perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
2. Mutu beton yang digunakan adalah rancangan ($f'c$) 25 MPa.
3. Nilai *slump* yang digunakan adalah 80 – 160 mm.
4. Persentase abu sekam padi adalah 7,5%, 10% dan 12,5% dari berat semen yang lolos saringan no. 100.
5. Persentase kapur adalah 7,5%, 10%, 12,5% dari berat semen yang lolos saringan no.100.
6. Abu sekam padi didapatkan dari hasil pembakaran produksi batu bata merah di Kecamatan Godean,
7. Kapur didapatkan dari toko bangunan di Kecamatan Sleman.
8. Kandungan kimia bahan pengganti semen tidak diuji.
9. Semen yang digunakan adalah semen PCC merek Dynamix.
10. Agregat halus yang digunakan adalah dari Gunung Merapi.
11. Agregat kasar yang digunakan adalah dari Gunung Merapi.
12. Air yang digunakan yaitu dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
13. Perawatan benda uji dilakukan dengan merendam.
14. Pengujian benda uji dilakukan pada umur 28 hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Seiring dengan meningkatnya kemajuan bangsa dalam mewujudkan bangunan sipil, hal ini sejalan dengan banyaknya inovasi – inovasi untuk membuat suatu bangunan tersebut dengan menggunakan material yang lebih murah tetapi memiliki kekuatan tinggi. Inovasi yang biasanya dilakukan yaitu dengan menambahkan bahan tambah dari kimia atau alam seperti serat, abu terbang (*fly ash*), *silica fume* dan lainnya. Bahan – bahan tersebut selain digunakan untuk bahan tambah juga bisa digunakan untuk menggantikan atau mengurangi komposisi campuran beton itu sendiri. Diharapkan dapat memudahkan pengerjaan dan mendapatkan nilai kuat tekan yang sesuai dengan rencana.

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang sejenis mengenai penggantian semen menggunakan limbah abu sekam padi dan kapur pernah dilakukan oleh peneliti - peneliti terdahulu.

1. Potensi Penggunaan Abu dan Kapur untuk Mengurangi Jumlah Semen dalam Campuran Beton.

Penelitian dilakukan oleh Y. Djoko Setiyarto, Muhamad Haekal Akbar Pahlevi (2017) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh abu dan kapur yang dapat digunakan dalam campuran beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan SNI 7656-2012 dengan variasi abu dan kapur dalam semen sebanyak 0%, 5%, 10% 20% dan 25% menggunakan benda uji berbentuk silinder. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan dengan variasi umur beton 3, 14, dan 21 hari. Penelitian tersebut dihasilkan bahwa nilai uji kuat tekan pada variasi 10% nilainya 23,40 MPa lebih tinggi dari pada beton normal dengan peningkatan sebesar 1,52%.

2. Studi Penggunaan Abu Sekam Padi pada Beton.

Penelitian dilakukan oleh Ankit Gautam, Rahul Batra dan Nishant Singh (2019) bertujuan mengetahui penggunaan abu sekam padi untuk menggantikan sebagian semen pada beton terhadap kuat tekan beton dan kuat tarik beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan IS 10262-1982. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus dan silinder dengan variasi abu sekam padi 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 15% serta variasi umur benda uji 7 dan 28 hari. Hasil penelitian diperoleh kuat tekan dan kuat tarik optimum pada variasi 7,5% sebesar 42,45 MPa dan 3,2 MPa. Nilai tersebut lebih tinggi dari pada beton normal yaitu sebesar 41,70 MPa dan 3,1 MPa.

3. Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan Kapur dan Batu Apung Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen.

Penelitian ini dilakukan oleh Sintia Melinda, Servie O. Dapas, Marthin D. J. Sumajouw (2020) yang bertujuan mengetahui pengaruh adanya penambahan kapur dan batu apung yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton. Penelitian ini menggunakan metode ACI 211.1-91 dengan benda uji berbentuk silinder, pengujian dilakukan pada beton umur 14 hari dan 28 hari dengan variasi kapur 20%, 16%, 12%, 10% dan 5 % dan variasi batu apung 4%, 8%, 10% dan 15%. Hasil penelitian didapatkan bahwa kuat tekan beton tertinggi pada variasi kapur 16% dan batu apung 4% yaitu sebesar 28,34 MPa, tetapi hasil tersebut berada di bawah nilai kuat tekan beton normal sebesar 31,26 MPa.

4. Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Padi Terhadap Workabilitas, Resapan Dan Kekuatan Tekan Beton.

Penelitian ini dilakukan oleh Retno Trimurtiningrum (2021) yang bertujuan untuk mendapatkan pengaruh pemanfaatan bahan material abu sekam untuk bahan alternatif semen terhadap sifat fisik dan sifat mekanik beton, yaitu *workabilitas*, kuat tekan dan resapan. Penelitian dilakukan menggunakan metode DOE dengan benda uji silinder dan variasi abu sekam padi 0%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Hasil penelitian diperoleh kuat tekan beton optimum terjadi pada persentase 8% yaitu sebesar 25,03 MPa dan mengalami peningkatan 55% dari beton normal.

2.3 Perbedaan Penelitian

Berdasarkan diuraian di atas perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilaksanakan dapat disajikan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis

Peneliti	Y. Djoko Setiyarto dkk (2017)	Gautam, A. dkk (2019)	Sintia Melinda dkk (2020)	Retno Trimurtiningrum (2021)	Penelitian yang akan dilaksanakan
Judul Penelitian	Potensi Penggunaan Abu dan Kapur untuk Mengurangi Jumlah Semen dalam Campuran Beton.	Studi Penggunaan Abu Sekam Padi pada Beton	Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan Kapur dan Batu Apung Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen	Pengaruh pemanfaatan abu sekam padi terhadap workabilitas, resapan dan kekuatan tekan beton.	Pengaruh Limbah Abu Sekam Padi dan Kapur Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Karakteristik Beton

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis

Peneliti	Y. Djoko Setiyarto dkk (2017)	Gautam, A. dkk (2019)	Sintia Melinda dkk (2020)	Retno Trimurtiningrum (2021)	Penelitian yang akan dilaksanakan
Tujuan Penelitian	Mengetahui pengaruh potensi abu dan kapur dapat digunakan dalam campuran beton sehingga dapat memberikan nilai kuat tekan beton.	Mengetahui penggunaan abu sekam padi untuk menggantikan sebagian semen pada beton terhadap kuat tekan beton dan kuat tarik beton	Mengetahui pengaruh dengan adanya penambahan kapur dan batu apung sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton.	Mendapatkan pengaruh pemanfaatan bahan material abu sekam untuk bahan alternatif semen terhadap sifat fisik dan mekanik beton.	Mengetahui pengaruh limbah abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneliti	Y. Djoko Setiyarto dkk (2017)	Gautam, A. dkk (2019)	Sintia Melinda dkk (2020)	Retno Trimurtiningrum (2021)	Penelitian yang akan dilaksanakan
Metode Penelitian	Metode mengacu pada SNI 7656-2012, dengan variasi abu 10% dan kapur sebanyak 0%, 5%, 10% 20% dan 25%.	Metode yang digunakan sesuai dengan IS 10262-1982, dengan variasi abu sekam padi 0%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 15%.	Metode yang digunakan ACI 211.1-91, dengan variasi kapur 20%, 16%, 12%, 10% dan 5 % dan variasi batu apung 4%, 8%, 10% dan 15%.	Metode yang digunakan DOE, dengan variasi abu sekam padi 0%, 4%, 8% dan 10%.	Menggunakan metode SNI 03-2834-2000, dengan variasi abu sekam padi dan kapur masing-masing 7,5%, 10%, dan 12,5%
Pengujian Penelitian	Uji kuat tekan beton yang dilakukan pada umur 3, 14 dan 21 hari dengan benda uji berbentuk silinder.	Uji kuat tekan dan kuat tarik yang dilakukan pada umur beton 7 dan 28 hari dengan benda uji berbentuk kubus dan silinder.	Uji kuat tekan beton dilakukan pada umur 14 dan 28 hari dengan benda uji berbentuk silinder.	Dilakukan pengujian slump beton, resapan, dan kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan benda uji berbentuk silinder.	Dilakukan uji kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas pada umur 28 hari dengan benda uji bentuk silinder

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneliti	Y. Djoko Setiyarto dkk (2017)	Gautam, A. dkk (2019)	Sintia Melinda dkk (2020)	Retno Trimurtiningrum (2021)	Penelitian yang akan dilaksanakan
Hasil Penelitian	Hasil penelitian diperoleh nilai kuat tekan beton tertinggi pada variasi 10% abu dan kapur yaitu sebesar 23,40 MPa. Hasil kuat tekan beton lebih besar dari pada beton normal sebesar 23,01 MPa meningkat 1,52%.	Hasil kuat tekan dan kuat tarik diperoleh nilai optimum pada penggantian semen sebanyak 7,5%. sebesar 42,45 MPa dan 3,2 MPa. Nilai tersebut lebih tinggi dari pada beton normal yaitu sebesar 41,70 MPa dan 3,1 MPa.	Hasil kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari sebesar 27,22 MPa dengan persentase kapur 16% dan batu apung 4%. Hasil tersebut lebih rendah dari pada beton normal yaitu 31,26 MPa.	Hasil diperoleh kuat tekan optimum pada persentase 8% sebesar 25,03 MPa dan meningkat 55% dari beton normal.	-

Berdasarkan Tabel 2.1 di atas dapat diketahui perbedaan penelitian yang akan dilaksanakan dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini menggunakan bahan pengganti sebagian semen menggunakan abu sekam padi dan kapur dengan variasi masing-masing 7,5%, 10%, dan 12,5% dari berat semen. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton rencana (f'_c) = 25 MPa. pengujian yang akan dilakukan pada umur 28 hari yaitu uji kuat tekan, uji kuat tarik dan modulus elastisitas. Berdasarkan penjelasan tersebut sehingga pada penelitian yang akan dilakukan sanggup dipertanggungjawabkan keasliannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Menurut SNI 03-2834-2000, beton normal merupakan campuran homogen dari semen portland (PC) atau semen hidraulik, agregat halus, agregat kasar dan air dengan menggunakan bahan tambah atau tidak sehingga membentuk ikatan yang membuat campuran tersebut menjadi kuat dan padat. Berat jenis beton normal sekitar 2200 – 2500 kg/m³ dengan komposisi campuran agregat (kasar dan halus) 60-75%, semen pasta (semen dan air) 25-40% dan udara 1-2%.

Klasifikasi beton yang baik dapat dibagi menjadi dua faktor yakni faktor material penyusun dan proses pelaksanaannya. Faktor yang pertama adalah material penyusunnya, menurut Mulyono (2003) beton dapat menahan kuat tekan, kekuatan tersebut akan meningkat secara signifikan dengan bertambahnya umur beton sampai umur 28 hari. Peningkatan kekuatan beton dipengaruhi oleh material semen, faktor air semen (fas), sifat kekentalan adukan beton, serta bahan tambahan yang digunakan (*admixture*) dapat mempengaruhi kekuatan beton (Prasetya, 2018). Sedangkan proses pelaksanaan juga sangat penting, mengingat dalam proses pembuatan beton harus mendapatkan hasil kekuatan yang sesuai dengan perencanaan awal.

Menurut Tjokrodimuljo (1992) kelebihan beton sebagai material yang digunakan dalam konstruksi yaitu beton kuat dalam menahan gaya tekan, dapat dibentuk sesuai dengan keinginan, tahan terhadap temperatur yang tinggi serta pemeliharaan beton yang terlogolong lebih mudah dan murah. Sedangkan kelemahan beton adalah tidak kuat dalam menahan gaya tarik sehingga perlu diimbangi dengan penggunaan baja tulangan serta mempunyai sifat getas.

Menurut Munaf (2012), kinerja dan sifat dari produk akhir beton kinerja tinggi dicirikan dengan memiliki *higher strength, more durable, fire resistance, water retention, sound insulation, thermal insulation, electric resistivity*, serta *abrasion resistance*.

3.2 Material Penyusun Beton

3.2.1 Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada campuran beton yang berbentuk butiran, selain itu penggunaan agregat dapat menambah kekuatan beton. Agregat yang digunakan proporsi 60-75% dari volume beton, untuk itu agregat sangat menentukan sifat beton. Beton harus mempunyai kualitas yang baik maka agregat yang digunakan harus kuat, tahan lama (tidak mudah terkikis oleh cuaca), bebas dari lumpur atau bahan organik lainnya. Agregat yang akan digunakan harus dicuci terlebih dahulu karena jika agregat yang digunakan kotor akan memperlambat atau memperlambat hidrasi semen atau ikatan pasta semen dengan agregat menjadi lemah. Berdasarkan butirannya agregat menurut Mulyono (2003) digolongkan menjadi tiga jenis yaitu sebagai berikut:

1. Butiran dengan ukuran lebih dari 40 mm (>40 mm) dikategorikan sebagai batu.
2. Butiran dengan ukuran 40,00–5,00 mm dikategorikan sebagai agregat kasar/kerikil.
3. Butiran dengan ukuran lebih kecil dari 4,8 mm ($\leq 4,8$ mm) dikategorikan sebagai agregat halus/pasir.

Bahan pengisi yang digunakan untuk campuran beton adalah agregat kasar dan agregat halus, berikut merupakan penjelasannya.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar berdasarkan SNI 03-2834-2000 yaitu hasil pemecahan alami dari batu atau batu pecah yang diperoleh dari mesin pemecah yang mempunyai ukuran butiran antara 5 mm – 40 mm. Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI-1971) untuk membuat campuran beton dengan mutu baik maka agregat kasar harus mempunyai persyaratan sebagai berikut:

- a. Agregat kasar harus terdiri butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat yang dipakai hanya yang mengandung butir pipih dan bersifat kekal tidak mudah pecah atau hancur jika terkontaminasi dengan cuaca seperti panas matahari atau hujan.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, jika terdapat kadar lumpur lebih dari 1% maka agregat harus dicuci.

- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang reaktif alkali yang dapat merusak beton.
- d. Agregat kasar harus terdiri dari butir yang berbagai macam besarnya serta apabila dilakukan ayakan dengan susunan yang telah ditentukan harus memenuhi syarat:
 - 1) Sisa di atas ayakan 31,5 mm harus 0% berat,
 - 2) Sisa di atas ayakan 4 mm harus antara 90%-98% berat,
 - 3) Selisih sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan yaitu maksimal 60% dan minimum 10% berat.

Agregat kasar terdapat persyaratan batas – batas susunan berdasarkan besarnya ukuran butiran. Pada Tabel 3.1 merupakan persyaratan batas dari agregat kasar.

Tabel 3. 1 Persyaratan Batas Agregat Kasar

Ukuran Ayakan	Persentase berat bagian yang lewat ayakan (%)		
(mm)	Ukuran nominal agregat (mm)		
	40	20	10
40	95 - 100	100	
20	37 - 70	95 - 100	100
10	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,8	0 - 5	0 – 10	0 - 10

Sumber: SNI 03-2834-2000

2. Agregat Halus

Agregat halus berdasarkan SNI 03-2834-2000 yaitu hasil pemecahan secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh pabrik pemecah batu yang mempunyai ukuran butiran terbesar 5,0 mm. Selain itu menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI-1971) dalam membuat campuran beton dengan mutu yang baik agregat halus harus mempunyai persyaratan sebagai berikut:

- a. Agregat halus terdiri atas butiran yang tajam dan keras, tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- b. Agregat halus tidak boleh memiliki kandungan lumpur lebih dari 5%, apabila kadar lumpur melebihi 5% agregat halus harus dicuci dahulu.

- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak yang dapat dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-harder (dengan larutan NaOH).
- d. Agregat halus harus bervariasi butirannya, sehingga jika dilakukan ayakan harus memenuhi syarat berikut:
 - 1) Sisa di atas ayakan 4 mm harus minimum 2% berat.
 - 2) Sisa di atas ayakan 1 mm harus minimum 10% berat.
 - 3) Sisa di atas ayakan 0,25 mm harus berkisar antara 80%-95% berat.

Berdasarkan persyaratan tersebut maka agregat halus yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi gradasi, seperti pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Batas Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 – 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 - 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 - 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Sumber: Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia, 2018)

Keterangan:

Daerah I = Pasir Kasar

Daerah II = Pasir agak Kasar

Daerah III = Pasir agak Halus

Daerah IV = Pasir Halus

3.2.2 Air

Air dalam campuran beton digunakan untuk bereaksi dengan semen. Air juga berpengaruh terhadap tingkat kelecakan (*workability*) sehingga dapat mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan, terlalu banyak penggunaan air

maka kuat tekan beton akan menurun sebaliknya jika air terlalu sedikit maka dapat mengurangi tingkat kelecakan.

Jumlah air ditentukan berdasarkan nilai *fas* yaitu perbandingan berat air terhadap berat semen. Nilai *fas* < 35 akan membuat beton sulit untuk dikerjakan (tanpa bahan tambah). Penambahan air (dari jumlah air sesuai *fas*) yang bertujuan untuk meningkatkan kemudahan dalam pengerjaan akan membuat kualitas beton menurun serta beton menjadi porous.

Persyaratan air yang digunakan dalam proses pembuatan campuran beton menurut SNI 03-6861.1-2002 yaitu:

1. Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung yang dapat dilihat secara visual.
2. Tidak mengandung benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garaman yang dapat larut lebih dari 15 gram/liter (zat organik, asam-asam dll).
4. Kandungan klorida (Cl) kurang dari 0,50 gram/liter dan senyawa sulfat kurang dari 1 gram/liter sebagai SiO_3 .
5. Dibandingkan dengan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton menggunakan air tidak melebihi dari 10%.
6. Khusus beton pratekan, kecuali syarat di atas air tidak boleh mengandung klorida lebih dari 0,05 gram/liter.

3.2.3 Semen

Sesuai dengan SNI 15-2049-2004 semen portland merupakan semen hidrolis yang didapatkan dari proses penggilingan terak yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis yang mengandung satu atau lebih bentuk dari kalsium sulfat sebagai bahan tambah yang digiling dengan bahan utamanya. Senyawa kimia yang terdapat pada semen antara lain: Kalsium Oksida (CaO), Silika (SiO_2), Oksida Besi (Fe_2O_3) dan Aluminium Oksida (Al_2O_3). Menurut Mulyono (2003) terdapat susunan senyawa kimia utama terkandung dalam semen portland yaitu:

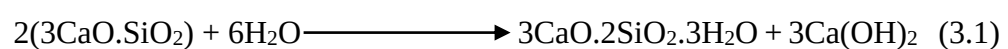
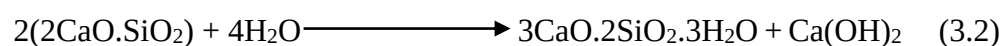
1. Trikalsium Silikat C_3S atau 3CaO SiO_2
2. Dikalsium Silikat C_2S atau 2CaO SiO_2
3. Trikalsium Aluminat C_3A atau $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$

4. Tetrakalsium Aluminoforit C_4F atau $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$

Tjokrodinuljo (1992) menyebutkan bahwa keempat senyawa tersebut yang paling mendominasi memberikan sifat semen adalah C_3S dan C_2S dengan komposisi 70%-80% dari berat semen. Berdasarkan SNI 15-2049-2004 semen portland dibagi menjadi 5 jenis, jenis semen portland yaitu:

1. Tipe I (*Ordinary Portland Cement*) yaitu semen yang tidak membutuhkan persyaratan yang khusus. Semen tipe I banyak digunakan sebagai bahan konstruksi.
2. Tipe II (*Moderate Sulfat Resistance*) yaitu semen yang membutuhkan ketahanan terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang. Semen tipe II memiliki panas hidrasi lebih rendah dibandingkan semen tipe I.
3. Tipe III (*High Early Strength*) yaitu semen yang membutuhkan kekuatan tinggi pada tahap awal setelah terjadi proses pengikatan.
4. Tipe IV (*Low Heat of Hydration*) yaitu semen yang membutuhkan panas hidrasi rendah. Semen tipe IV banyak digunakan pada konstruksi lapangan udara.
5. Tipe V (*Sulfat Resistance Cemen*) adalah semen yang membutuhkan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Menurut Mulyono, T (2003) meskipun komposisi semen dalam campuran beton hanya 10% tetapi mempunyai peran penting yaitu sebagai bahan pengikat. Salain (2009) juga menjelaskan bahwa semen merupakan bahan utama yang dicampur dengan air berfungsi untuk mengikat butir agregat, selain itu dapat mengisi rongga udara antar agregat sehingga menjadi masa yang padat. Semen mempunyai kemampuan mengikat air sehingga dapat tahan dalam air (*water resistance*). Reaksi antara semen dan air akan menghasilkan pasta semen kemudian timbul panas hidrasi, besarnya panas hidrasi tergantung dengan jenis dan kehalusan semen yang digunakan dalam campuran beton (Mulyono, T. 2003). Pada persamaan 3.1 menghasilkan kalsium silikat hidrat dan pada persamaan 3.2 yang bertanggung jawab atas kekuatan semen.



Pada dasarnya, industri semen merupakan sektor tertinggi yang mengkonsumsi energi, dilihat dari sudut pandang energi telah dilaporkan bahwa untuk menghasilkan satu ton semen, dibutuhkan energi 4 GJ dan bahan baku 1,7ton (yaitu batu kapur dan serpih) yang mengarah pada degradasi lingkungan dan masalah pencemaran lingkungan (Srinivasreddy, A *et al.*, 2013). Semen bisa bertanggung jawab atas 5% dari total efek rumah kaca antropogenik emisi gas CO₂ akibat kalsinasi batu gamping (Imbabi *et al.*, 2012; Amato, 2013). Untuk mengurangi emisi gas CO₂ yaitu dilakukan dengan meningkatkan efisiensi energi dengan penggunaan bahan bakar alternatif dan menyebarkan sumber energi terbarukan (Elakneswaran *et al.*, 2019). Selain itu menurut Setiawan *et al.*, (2015) untuk mengurangi emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari produksi semen maka solusinya dengan mengurangi atau mengganti bahan ikat dari semen menjadi bahan pengikat yang ramah lingkungan.

3.3 Bahan Modifikasi

3.3.1 Abu Sekam Padi



Gambar 3. 1 Abu Sekam Padi

Indonesia merupakan salah satu negara agraris yang mengutamakan hasil bidang pertanian, salah satunya memproduksi padi untuk memenuhi kebutuhan pokok masyarakat di Indonesia. Berdasarkan data yang didapatkan dari BPS mengenai luas panen dan produksi padi di Indonesia, produksi padi di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 54,65 juta ton GKG atau setara dengan produksi beras 31,33 juta ton. Selama proses penggilingan padi sekitar 78% dihasilkan beras, beras pecah dan dedak, sisanya 22% dihasilkan dalam bentuk sekam padi (Khan, R,

Jabbar, A. *et al.*, 2012). Sekam padi yang dihasilkan mengandung *volatile organic* sebesar 75% dan 25% sisanya dilakukan pembakaran hingga menghasilkan abu sekam padi (Khan, R, Jabbar, A. *et al.*, 2012).

Selama dilakukan pembakaran sekam kandungan zat organik yang ada didalamnya akan hilang dan bersisa abu yang banyak mengandung silika, adanya kandungan silika tersebut abu sekam padi tergolong dalam *pozzolan* alami (Rofiqi, 2015). Pernyataan di atas selaras dengan pernyataan Srinivasreddy *et al.*, (2013) bahwa abu sekam padi mempunyai sifat *pozzolan* yang unik sehingga menghasilkan *pozzolan* reaktif berupa silikon (SiO_2) untuk bereaksi dengan air dan Ca(OH)_2 yang terbentuk dari hidrasi kalsium silikat dalam semen.

Penelitian mengenai kandungan kimia abu sekam padi telah banyak dilakukan diantaranya oleh Gunduz, L and Kalkan, S (2019) yang mendapatkan komposisi kimia dari abu sekam padi seperti pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Kandungan Kimia Abu Sekam Padi

Elemen Utama	Persentase Kandungan Abu Sekam Padi (%)
SiO_2	87,8
Al_2O_3	0,46
Fe_2O_3	0,26
CaO	1,37
Na_2O	1,22
K_2O	3,44
MgO	0,42
LOI	3,09

Sumber: Gunduz L dan Kalkan S (2019)

Dari tabel di atas didapatkan bahwa abu sekam padi mempunyai kandungan SiO_2 sebesar 87,8%. Menurut Sandya, Y. *et al.*, (2019) sesuai dengan persyaratan mutu *pozzolan* bahwa $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ lebih dari 70% maka abu sekam padi dapat digunakan sebagai *pozzolan*. Selain itu menurut penelitian Srinivasreddy, A *et al.*, (2013) sifat *pozzolan* dari abu sekam padi dapat mengisi rongga-rongga kecil

dalam beton sehingga dapat dihasilkan beton dengan massa padat yang dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Pembakaran abu sekam padi dengan suhu 500-700°C selama 1 sampai 2 jam akan menghasilkan *silica amorf* yang cukup tinggi (Solikin, M dan Susilo, 2016). Jika di campur menggunakan air akan muncul sifat *hydrophilic* yaitu dapat mengikat air pada permukaan (Tata, A *et al.*, 2016) sehingga beton yang dihasilkan akan sulit ditembus air, lebih awet dan tahan terhadap abrasi. Saat ini banyak dikembangkan inovasi pada bidang konstruksi yaitu dengan memanfaatkan limbah abu sekam padi sebagai pengganti semen atau bahan tambah.

Penelitian ini menggunakan abu sekam padi yang didapatkan dari sisa pembakaran batu bata merah di Kecamatan Godean dengan suhu yang tidak terkontrol. Dengan memanfaatkan abu sekam padi untuk mengganti sebagian semen maka dapat mengurangi limbah abu sekam padi, mengurangi pencemaran udara akibat produksi semen serta dapat menambah nilai guna dari abu sekam padi.

3.3.2 Kapur



Gambar 3. 2 Kapur

Kapur adalah bahan bangunan yang didapatkan dari proses penggalian alam atau batuan hasil sedimentasi batu kapur (CaCO_3) yang terbentuk melalui proses kimia maupun mekanik di alam. Penggunaan kapur sebagai bahan pengikat telah lama digunakan dari zaman Romawi dan Yunani, kapur digunakan sebagai bahan adukan dan plesteran pada bangunan (Mulyono, T., 2003). Penelitian Melinda, S., *et al.*, (2020) menyebutkan bahwa kapur memiliki karakteristik seperti pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Karakteristik Kapur

Karakteristik	Uraian
Warna	Putih, putih keabuan
Berat Jenis	2,2
Berat Volume	250-300 kg/m ³
Kehalusan	20.000 kg/m ³
Diameter	0,1 mm (1/100 diameter semen)

Sumber: Melinda, S., *et al.*, (2020)

Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Melinda, S., *et al.*, (2020) diketahui kandungan kimia dari kapur yaitu:

1. Silikon dioksida atau (SiO₂) sebesar 1,2%
2. Kalsium karbonat atau (CaCO₃) sebesar 95,2%
3. Magnesium karbonat (MgCO₃) sebesar 0,90%
4. Air atau (H₂O) sebesar 2,7%

Berdasarkan kandungan kapur di atas dapat diketahui bahwa sebagian besar kandungan dari kapur adalah CaCO₃. Senyawa CaCO₃ diperoleh dari proses pembakaran pada temperatur 900°C. Saat proses pembakaran kalsium karbonat (CaCO₃) terjadi proses kalinasi yaitu pelepasan CO₂ ke udara sehingga menghasilkan CaO saja. Kemudian CaO dilakukan pendinginan dengan ditambahkan air maka terbentuk kalsium hidroksida CaOH₂ dan panas. Apabila CaOH₂ ditempatkan dalam udara terbuka maka akan mengikat CO₂ sehingga terbentuk CaCO₃ kembali dan H₂O. Kalsium karbonat CaCO₃ ini mempunyai sifat perekat hidrolis yaitu jika dicampur dengan air maka akan menggumpal dan mengeras serta tidak bisa larut kembali dalam air. Menurut Darren J., *et.al.* (2016) proses *curing* dengan cara direndam akan membuat proses pengerasan pada perekat hidrolis lebih baik sehingga pengerasan kapur menjadi optimal.

Pemilihan kapur sebagai pengganti sebagian dari semen pada penelitian ini karena didalamnya terkandung unsur kalsium oksida (CaO) yang merupakan komponen utama untuk membuat semen (Setiyarto and Pahlevi, 2017) selain itu menurut Melinda, S. *et al.*, (2020) penggunaan kapur sebagai pengganti semen

karena mengandung SiO_2 yang memberikan sifat pozzolan. Keunggulan penggunaan kapur yaitu mempunyai sifat plastis yang baik, dapat mengurangi penyusutan dan pemuaian, dapat mengeras dengan cepat dan mudah dikerjakan. Apabila kapur digunakan bersama semen maka mempunyai kemampuan menghasilkan produk yang lebih baik sehingga meningkatkan kuat tekan beton.

3.4 Perencanaan Campuran Beton (Mix design)

Perencanaan campuran beton dapat menggunakan berbagai metode, seperti ACI (*American Concrete Institute*), DOE (*Department of Environment*), dan SNI 03-2834-2000 (Rofiqi, 2015). Pada penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran beton sesuai SNI 03-2834-2000 dengan tujuan memperoleh proporsi dalam pembuatan beton dalam jumlah kebutuhan yang sesuai dengan mutu yang diinginkan. Dalam metode SNI 03-2834-2000 tata cara perencanaan campuran untuk beton normal, yaitu sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan beton yang direncanakan ($f'c$) pada umur tertentu.
Pada penelitian ini kuat tekan yang direncanakan yaitu 25 MPa.
2. Menentukan besarnya nilai kuat tekan rerata yang ditargetkan ($f'cr$) dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Kuat tekan rerata } (f'cr) = f'c + M \quad (3.4)$$

dengan:

$$\begin{aligned} f'cr &= \text{kuat tekan rerata (MPa)} \\ f'c &= \text{kuat tekan rencana (MPa)} \\ M &= \text{nilai tambah} \end{aligned}$$

Dimana nilai tambah atau margin (M) didapatkan dari persamaan berikut

$$\text{Nilai Tambah } (M) = 1,64 \times Sr \quad (3.5)$$

dengan:

$$\begin{aligned} M &= \text{nilai tambah} \\ 1,64 &= \text{tetapan statistic yang nilainya bergantung dengan persentase} \\ &\quad \text{kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5\%} \end{aligned}$$

S_r = deviasi standar rencana

Menentukan nilai deviasi standar rencana dengan menggunakan tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	-
15	1,16
20	1,08
2	1,03
≥ 30	1,00

Sumber; SNI 03-2834-2000

Jumlah benda uji kurang dari 15 maka nilai M tidak boleh kurang dari $f'_c + 12$

3. Menentukan jenis semen yang digunakan.

Penelitian ini telah ditetapkan menggunakan semen PCC merek dynamix yang mempunyai sifat seperti semen tipe I.

4. Menentukan jenis agregat yang digunakan.

Pada penelitian ini telah ditetapkan jenis agregat yang akan digunakan dalam campuran beton. Agregat halus yang digunakan yaitu pasir alami sedangkan untuk agregat kasar yang digunakan yaitu kerikil berupa batu pecah.

5. Menentukan nilai faktor air semen (f_{as}).

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 tahapan dalam menentukan nilai f_{as} dilakukan sebagai berikut.

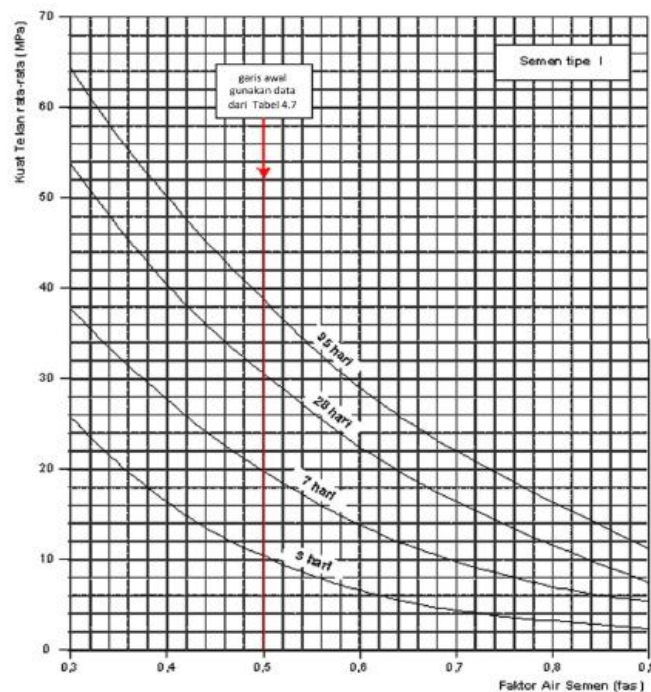
- a. Memperkirakan kuat tekan pada f_{as} 0,5 dengan penggunaan jenis agregat dan tipe semen yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.6.
- b. Setelah nilai kuat tekan sudah ditentukan selanjutnya mencari nilai f_{as} sesungguhnya dengan menggunakan grafik hubungan antara kuat tekan dan f_{as} pada Gambar 3.4 dengan cara:
 - 1) Cari titik yang bersinggungan antara kuat tekan rencana dan f_{as} 0,5
 - 2) Buat garis lengkung baru (kurva umur beton) proporsional terhadap lengkung diatasnya atau dibawahnya.

- 3) Tarik secara horizontal dari kuat tekan rencana (f'_{cr}) sampai memotong kurva yang baru setelah itu tarik garis turun vertikal ke sumbu f_{as} dan didapatkan nilai f_{as} .
- c. Perhatikan nilai f_{as} maksimum sesuai dengan kondisi lingkungan termasuk dengan lingkungan khusus seperti pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan $f_{as} = 0,5$

Jenis Semen	Jenis Agregat	Kekuatan Tekan (MPa)				Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II dan V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

Sumber: SNI 03-2834-2000

6. Menentukan nilai *slump*
7. Menentukan ukuran agregat maksimum
8. Menentukan kadar air bebas

Penentuan jumlah kadar air bebas dihitung berdasarkan hasil nilai *slump*, jenis agregat campuran dan berdasarkan ukuran butir maksimum yang digunakan. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 kadar air dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar Air Bebas } (W_{air}) = \frac{2}{3} \times W_{ah} + \frac{1}{3} \times W_{ak} \quad (3.6)$$

dengan:

W_{air} = kadar air bebas

W_{ah} = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_{ak} = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Untuk mengetahui nilai W_{ah} dan W_{ak} didapatkan dari Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3. 7 Perkiraan Kadar Air Bebas

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

9. Menentukan jumlah semen

Untuk menentukan jumlah semen yang dibutuhkan dalam per m³ berdasarkan nilai *fas* yang digunakan. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 jumlah semen dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Berat Semen } (W_{pc}) = \frac{\text{Kasar air bebas}}{fas} \quad (3.7)$$

10. Menentukan jumlah minimum semen dan *fas* maksimum

Untuk menentukan jumlah minimum semen dan maksimum *fas* dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan *fas* Maksimum dalam Lingkungan Khusus

Tipe Pembetonan	Jumlah Semen Min per m³ Beton (kg)	Nilai <i>fas</i> maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		-
c. Perkiraan kadar air bebas tiap meter kubik beton		-

Sumber: SNI 03-2834-2000

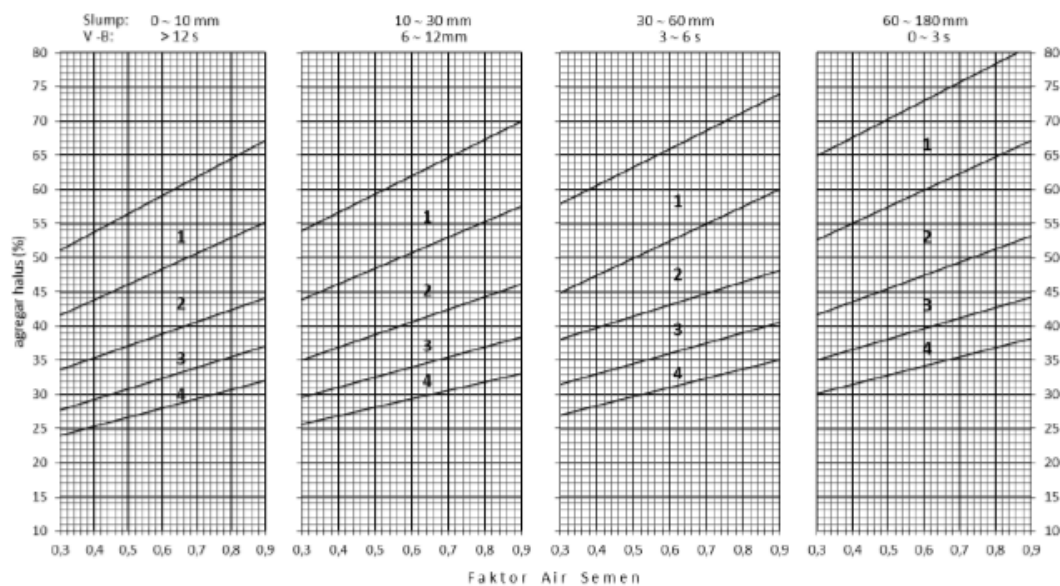
Berdasarkan tabel di atas kemudian ditetapkan besar kadar semen yang digunakan dan nilai *fas* terkoreksi sesuai dengan jumlah semen yang digunakan. Penyesuaian nilai ini akan dipakai dalam campuran beton.

11. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar.

Untuk mendapatkan persentase agregat menggunakan data nilai *fas* dan *slump* yang sudah didapatkan serta menggunakan data daerah gradasi dan ukuran maksimum butiran agregat dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.5, Gambar 3.6 atau Gambar 3.7. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 langkah dalam menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar sebagai berikut:

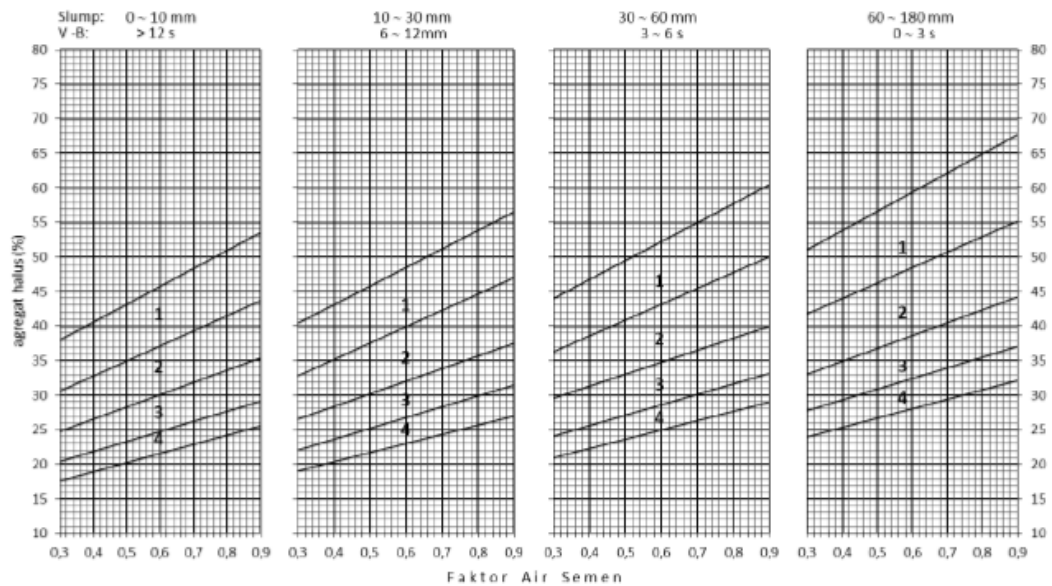
- Tentukan kelompok grafik yang sesuai dengan ukuran maksimum agregat yang akan digunakan pada Gambar 3.5, Gambar 3.6 atau Gambar 3.7 serta memilih grafik yang sesuai dengan nilai *slump* yang telah direncanakan.
- Tarik garis lurus secara vertikal dari nilai *fas* sampai memotong kurva paling atas yang mengapit dua kurva yang menunjukkan daerah gradasi agregat halus.
- Tarik garis mendatar secara horizontal ke kanan sampai mendapatkan dua nilai persentase.
- Dari kedua nilai persentase tersebut kemudian diambil nilai rata-ratanya dan diketahui persentase agregat halus yang dibutuhkan.
- Setelah mengetahui nilai persentase agregat halus, dapat dihitung persentase agregat kasar dengan menggunakan rumus berikut.

$$\text{Persentase Agregat Kasar (\%)} = 100 - \text{Persentase agregat halus} \quad (3.8)$$



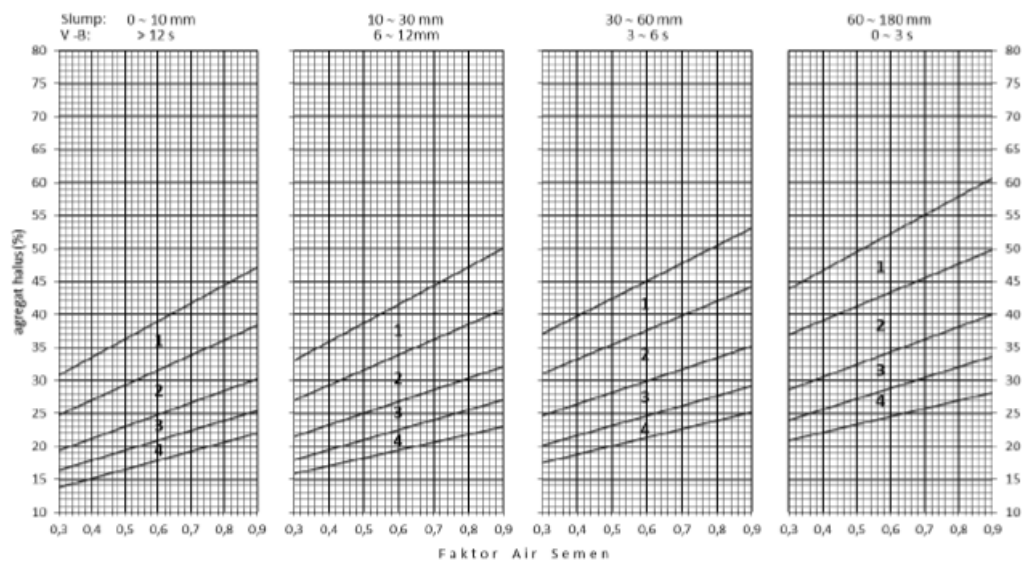
Gambar 3. 4 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Total untuk Ukuran Butiran Maksimum 10 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3. 5 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Total untuk Ukuran Butiran Maksimum 20 mm

(Sumber : SNI 03-2834-2000)



Gambar 3. 6 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Total untuk Ukuran Butiran Maksimum 40 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

12. Menentukan berat jenis relatif agregat.

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 untuk mengetahui nilai berat jenis relatif agregat gabungan dapat dihitung berdasarkan rumus berikut.

$$BJ_{AG} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (3.9)$$

dengan:

BJ_{AG} = berat jenis agregat gabungan

BJ_{AH} = berat jenis agregat halus

BJ_{AK} = berat jenis agregat kasar

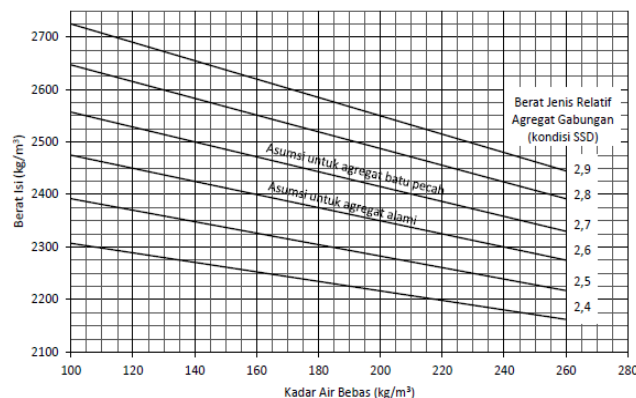
$\%AH$ = persentase agregat halus

$\%AK$ = persentase agregat kasar

13. Menentukan berat isi beton.

Data yang digunakan untuk menentukan berat beton basah antara lain berat jenis relatif gabungan dan kadar air bebas yang sudah diketahui sebelumnya. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 untuk menentukan nilai berat beton dengan menggunakan Gambar 3.8 dengan tahapan sebagai berikut.

- Tarik garis lurus secara vertikal pada sumbu kadar air bebas sampai memotong kurva berat jenis yang sudah diketahui.
- Dari perpotongan tersebut, tarik garis secara horizontal ke kiri untuk mendapatkan nilai berat beton (W_{beton}).



Gambar 3. 7 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah Selesai Dipadatkan
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

14. Menentukan kadar agregat gabungan

Untuk menentukan kadar agregat gabungan ini menggunakan rumus sebagai berikut.

Kadar agregat gabungan = Berat isi beton–kadar semen–kadar air bebas (3.10)

15. Menentukan kadar agregat halus dan kasar

Untuk menentukan kadar agregat halus dan kasar ini menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.11)$$

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{ agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.12)$$

16. Menentukan proporsi campuran

Penentuan proporsi campuran, kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan. Untuk mengetahui berat masing-masing agregat maka hasil dari kadar agregat gabungan dikalikan dengan persentase dari agregat halus dan kasar, setelah didapatkan berat masing-masing agregat kemudian dapat diketahui berat semen dan berat air dalam campuran beton 1 m³.

17. Menentukan proporsi campuran dengan angka penyusutan

Setelah diketahui proporsi campuran beton untuk tiap 1 m³ kemudian dihitung angka untuk faktor penyusutan. Angka penyusutan campuran sekitar 10%-20%, maka pada penelitian ini angka penyusutannya diambil 15%.

3.5 Pengujian Beton

Penelitian ini terdiri dari dua pengujian beton yaitu pengujian beton segar dan pengujian beton keras, untuk lebih jelasnya dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.5.1 Pengujian Beton Segar

Beton segar merupakan adukan beton belum mengeras yang mempunyai sifat plastis atau kelecakan. Untuk mengetahui tingkat kelecakan dari beton segar dilakukan pengujian *slump*. Uji *slump* dilakukan untuk mengontrol kekentalan homogenitas adonan beton segar dan kemudahan pengerjaan (*workability*) yang sudah ditetapkan dalam perancangan campuran dinyatakan dengan satu nilai *slump*. Nilai *slump* ditentukan berdasarkan besarnya keruntuhan adonan beton ketika dilakukan pemeriksaan. Pada umumnya nilai *slump* meningkat sebanding dengan nilai kadar air yang digunakan pada campuran beton tetapi akan berbanding terbalik dengan kekuatan beton.

Menurut SNI 03-1972-1990 mengenai Metode Pengujian *Slump* Beton peralatannya terdiri dari:

1. Cetakan terbuat dari logam dengan tebal 1,2 mm berupa kerucut terpancung (kerucut Abrams).
2. Tongkat pemadat diameter 16 mm dengan panjang 600 mm, ujung tongkat dari baja bebas karat yang telah dibulatkan.
3. Pelat logam permukaan rata, kokh dan kedap air.
4. Sendok cekung yang tidak menyerap air.
5. Penggaris.

3.5.2 Pengujian Beton Keras

Beton keras berdasarkan SNI 03-2492-2002 merupakan campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dengan perbandingan tertentu dengan ditambah atau tidak bahan tambah yang telah mengeras. Pengujian beton keras pada penelitian yang akan dilaksanakan yaitu sebagai berikut.

1. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton yaitu beban persatuan luas yang membuat benda uji runtuh bila dibebani dengan gaya tekan yang dihasilkan mesin tekan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui mutu kekuatan beton (*compressive strength*) yang dihasilkan terhadap konstruksi yang akan dibuat. Pengujian ini menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Berdasarkan SNI 1974-2011 nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Kuat Tekan Beton } (f'c) = \frac{P}{A} \quad (3.13)$$

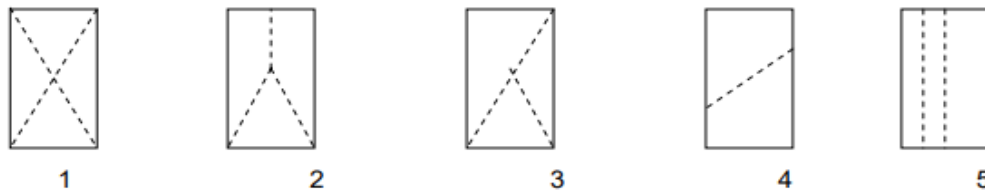
dengan:

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang melintang benda uji (mm²)

Gambar 3.1 berdasarkan SNI 1974-2011 terdapat beberapa sketsa bentuk kehancuran benda uji setelah dilakukan pengujian sebagai berikut.



Keterangan:

1. Bentuk hancur kerucut
2. Bentuk hancur kerucut dan terbelah
3. Bentuk hancur kerucut dan geser
4. Bentuk hancur geser
5. Bentuk hancur sejajar sumbu tegak

Gambar 3. 8 Sketsa Bentuk Kehancuran Pada Benda Uji Kuat Tekan Beton

(Sumber: SNI 1974-2011)

2. Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan SNI 03-2491-2002 pengujian kuat tarik merupakan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik. Kuat tarik belah beton digunakan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari suatu komponen struktur beton. Pada pengujian ini menggunakan benda uji bentuk silinder yang diuji menggunakan alat CTM (*compression testing machine*) yang diletakkan mendatar sejajar dengan berpotongan dengan titik meja penekan. Nilai kuat tarik belah beton biasanya sekitar 9 – 15% dari nilai kuat tekannya. Sketsa pengujian kuat tarik belah beton seperti pada Gambar 3.2. Berdasarkan SNI 03-2491-2002 untuk menentukan nilai kuat tarik belah dapat diketahui dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.4 berikut.

$$f_{ct} = \frac{2 \times P}{L \times D} \quad (3.14)$$

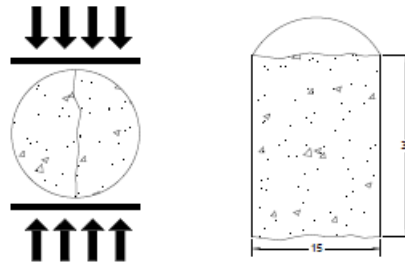
dengan:

f_{ct} = kuat tarik belah (MPa)

P = benda uji maksimum (beban hancur/terbelah) (N)

L = panjang benda uji (mm)

D = diameter benda uji (mm)



Gambar 3. 9 Sketsa Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

3. Modulus Elastisitas Beton

Menurut Mulyono (2004) modulus elastisitas merupakan perbandingan nilai tegangan normal dengan regangan tarik atau tekan di bawah batas proporsional material. Benda uji akan mengalami pembebanan seperti pengujian kuat tekan beton, tetapi beban yang diberikan (tegangan) hanya mencapai 40% dari kuat tekan beton maksimum (dalam kondisi linier) dan sudah mendekati 70% tegangan hancur, dianggap kehilangan kekakuannya. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati nilai perubahan panjang yang disebabkan oleh besarnya beban pada saat beton dengan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) dan *Dial Gauge* regangan seperti pada Gambar 3.3. Berdasarkan ASTM C-469 nilai modulus elastisitas beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.15)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

σ_2 = kuat tekan pada saat 40% dari beban maksimum (MPa)

σ_1 = kuat tekan pada saat regangan longitudinal mencapai $\varepsilon_1 = 0,00005$ (MPa)

ε_2 = regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat σ_2

Perhitungan modulus elastisitas juga dapat dihitung menggunakan metode SNI 2847-2013 untuk beton normal dengan berat isi beton (W_c) 1440-2560 kg/m³ yaitu:

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.16)$$

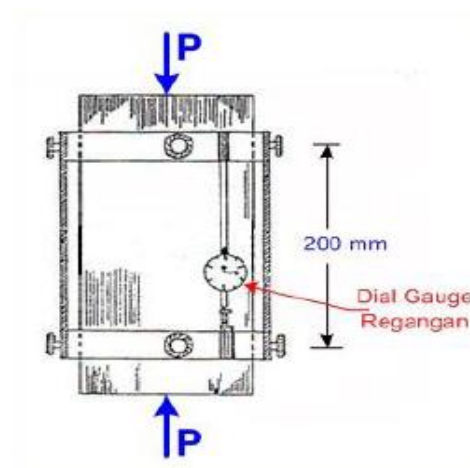
atau

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (3.17)$$

dengan:

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

W_c = berat isi beton (kg/m³)



Gambar 3. 10 Sketsa Benda Uji dan Alat Kompresometer pada Pengujian Modulus Elastisitas

(Sumber: Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia, 2018)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Umum

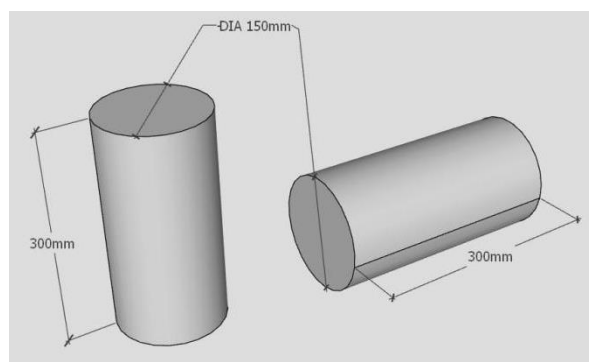
Penelitian yang akan dilakukan berupa metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan dua variabel yaitu abu sekam padi dan kapur dengan berbagai variasi. Penelitian ini diawali dengan persiapan, pengujian bahan penyusun beton, perencanaan campuran (*mix design*), pembuatan beton, perawatan beton, pengujian beton, analisis data, pembahasan dan kesimpulan.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian Tugas Akhir dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Beton Konstruksi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

4.3 Benda Uji

Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian berupa beton silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sketsa benda uji bentuk silinder diilustrasikan dalam Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Sketsa Benda Uji Silinder

Jumlah benda uji yang dilaksanakan dalam penelitian ini terdiri dari 10 variasi dengan satu variasi beton normal dan 9 variasi beton kombinasi abu sekam padi dan kapur. Berdasarkan SNI 03-3403-1994 Pengujian Kuat Tekan Beton Inti, BAB II Persyaratan Pengujian jumlah benda uji yang digunakan tidak boleh kurang dari 3

buah sehingga pada penelitian ini menggunakan 3 benda uji untuk tiap pengujian beton keras, untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Rincian Sampel Benda Uji

No	Kode Benda Uji	Persentase Variasi		Pengujian	Jumlah Sampel
		Kapur (%)	Abu Sekam Padi (%)		
1	BN-0	0	0	Uji Kuat Tekan	3
2	A-7,5	7,5	7,5	Uji Kuat Tekan	3
3	A-10		10	Uji Kuat Tekan	3
4	A-12,5		12,5	Uji Kuat Tekan	3
5	B-7,5	10	7,5	Uji Kuat Tekan	3
6	B-10		10	Uji Kuat Tekan	3
7	B-12,5		12,5	Uji Kuat Tekan	3
8	C-7,5	12,5	7,5	Uji Kuat Tekan	3
9	C-10		10	Uji Kuat Tekan	3
10	C-12,5		12,5	Uji Kuat Tekan	3
11	BN-0	0	0	Uji Tarik Belah	3
12	A-7,5	7,5	7,5	Uji Tarik Belah	3
13	A-10		10	Uji Tarik Belah	3
14	A-12,5		12,5	Uji Tarik Belah	3
15	B-7,5	10	7,5	Uji Tarik Belah	3
16	B-10		10	Uji Tarik Belah	3
17	B-12,5		12,5	Uji Tarik Belah	3
18	C-7,5	12,5	7,5	Uji Tarik Belah	3
19	C-10		10	Uji Tarik Belah	3
20	C-12,5		12,5	Uji Tarik Belah	3

4.4 Bahan dan peralatan penelitian

4.4.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan campuran beton diantaranya:

1. Agregat

Agregat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar berupa batu pecah yang didapatkan dari proses pemecahan batu dari Gunung Merapi sedangkan agregat halus yang digunakan dari proses penggalan pasir pada aliran sungai Gunung Merapi.

2. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan semen PCC merek Dynamix.

3. Air

Pada penelitian ini menggunakan air yang sudah disediakan dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

4. Abu Sekam Padi

Penggunaan abu sekam padi pada penelitian ini diperoleh dari limbah hasil pembakaran sekam padi pada proses pembuatan batu bata merah di Kecamatan Godean, Sleman yang lolos saringan no.100.

5. Kapur

Kapur yang digunakan pada penelitian ini berbentuk serbuk yang lolos saringan no. 100 mm didapatkan dari toko bangunan terdekat di Kecamatan Sleman.

4.4.2 Alat

Dalam pelaksanaan penelitian ini menggunakan beberapa peralatan diantaranya sebagai berikut.

1. Alat pemeriksaan bahan penyusun beton

Dalam pelaksanaan pemeriksaan bahan penyusun menggunakan alat yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Alat untuk Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

No	Alat	Kegunaan
1	Oven	Mengeringkan bahan.
2	Timbangan	Menimbang bahan.
3	Cawan	Menampung bahan.
4	Piknometer	Menguji berat jenis agregat halus.

Lanjutan Tabel 4. 2 Alat untuk Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

No	Alat	Kegunaan
5	Kerucut terpancung dan penumbuk	Memeriksa kondisi SSD agregat halus.
6	Saringan agregat kasar	Menyaring agregat kasar sesuai ukuran.
7	Mesin pengguncang saringan	Menyaring agregat halus sesuai ukuran.
8	Kuas	Membersihkan saringan dari debu.
9	Jangka sorong	Mengukur dimensi silinder.
10	Silinder	Cetakan untuk uji berat volume.
11	Cetok	Memindahkan dan mengambil bahan.
12	Saringan no. 200	Menyaring agregat halus pada uji kandungan lumpur.

2. Alat pembuatan benda uji

Alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.2 Alat Pembuat Benda Uji

No	Alat	Kegunaan
1	Molen (Mixer Beton)	Membuat campuran beton segar.
2	Cetakan silinder	Mencetak benda uji.
3	Ember	Menampung bahan kapasitas besar.
4	Cetok	Memindahkan dan mengambil bahan.
5	Palu Karet	Memadatkan benda uji dari sisi luar.
6	Gerobak dorong	Mengangkut campuran beton segar.
7	Tongkat penumbuk	Memadatkan beton segar.

3. Alat pengujian beton segar (*slump test*)

Alat yang digunakan dalam pengujian beton segar dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.3 Alat Pengujian Beton Segar (*Slump Test*)

No	Alat	Kegunaan
1	Kerucut abrams	Menguji <i>slump</i> .
2	Tongkat penumbuk	Memadatkan beton segar.
3	Penggaris	Mengukur tinggi <i>slump</i> .
4	Cetok	Memindahkan beton segar dalam kerucut abrams.

4. Alat pengujian beton keras

Alat yang digunakan dalam pengujian beton keras dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.4 Alat Pengujian Beton Keras

No	Alat	Kegunaan
1	Cetakan <i>capping</i>	<i>Capping</i> benda uji.
2	<i>Compressing Test Machine</i> (CTM)	Menguji kuat tekan beton dan kuat tarik beton.
3	Compressometer- Extensometer	Membaca regangan pada pengujian elastisitas beton.

4.5 Pelaksanaan Penelitian

4.5.1 Persiapan

Pada tahapan persiapan ini yang dilakukan mencakup persiapan studi pustaka, melakukan pengurusan izin laboratorium, serta melakukan pengadaan bahan-bahan yang akan digunakan dalam pembuatan beton.

4.5.2 Pengujian Bahan Penyusun Beton

Sebelum melakukan mix design, bahan-bahan yang akan digunakan dalam campuran beton harus terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan. Pengujian bahan-bahan bertujuan untuk memenuhi persyaratan susunan beton yang baik. Pemeriksaan yang dilakukan antara lain:

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

Berdasarkan SNI 03-1970-1990 tentang metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilakukan sebagai berikut.

- a. Keringkan benda uji dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap. Dinginkan pada suhu ruang dan rendam ke dalam air selama 24 ± 4 jam.
 - b. Buang air rendaman. Kemudian keringkan benda uji dengan menebarkan benda uji di atas talam sambil membalik-balikkan benda uji sampai keadaan kering permukaan jenuh.
 - c. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan memasukkan benda uji ke dalam kerucut terpancung, kemudian benda uji dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 25 kali. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai apabila kerucut terpancung diangkat benda uji akan runtuh namun masih dalam keadaan tercetak.
 - d. Jika telah tercapai keadaan jenuh kering permukaan, masukkan benda uji sebanyak 500gram ke dalam piknometer, kemudian masukkan air suling ke dalam piknometer sampai 90%, lalu putar dan guncangkan piknometer sampai gelembung udara tidak terlihat didalamnya.
 - e. Tambahkan air suling sampai tanda batas.
 - f. Timbang piknometer berisi benda uji dan air suling (Bt).
 - g. Keluarkan benda uji dan keringkan dengan oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, lalu dinginkan.
 - h. Timbang benda uji (Bk).
 - i. Timbang berat piknometer berisi air penuh (B).
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.
- Berdasarkan SNI 03-1969-1990 tentang Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut.
- a. Rendam benda uji dengan suhu ruang selama 24 ± 4 jam.
 - b. Keluarkan benda uji kemudian masukkan ke dalam keranjang air sambil digoncangkan benda ujinya untuk mengeluarkan gelembung udaranya, kemudian timbang benda uji di dalam air (Ba).
 - c. Keluarkan benda uji di dalam air, kemudian lap permukaan benda uji hingga kondisi jenuh selanjutnya timbang benda uji (Bj).

d. Keringkan benda uji dengan memasukkan ke dalam oven selama 24 ± 4 jam, kemudian timbang berat benda uji (Bk)

3. Pengujian analisa saringan agregat halus.

Berdasarkan SNI 03-1968-1990 tentang Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar, urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut.

- a. Keringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya tetap.
- b. Keluarkan benda uji pada suhu ruangan, kemudian timbang benda uji sebanyak 2000 gram.
- c. Susun saringan dari lubang yang paling besar sampai lubang paling kecil dari atas kebawah, masukkan benda uji ke dalam saringan dan di ayak menggunakan mesin penggoyang selama 10 – 15 menit.
- d. Keluarkan benda uji dan timbang benda uji yang tertahan pada saringan

4. Pengujian analisa saringan agregat kasar.

Berdasarkan SNI 03-1968-1990 tentang Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar, urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut.

- a. Keringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya tetap.
- b. Keluarkan benda uji dan dinginkan pada suhu ruangan, kemudian timbang benda uji sebanyak 5000 gram.
- c. Susun saringan dari lubang yang paling besar sampai lubang paling kecil dari atas kebawah, selanjutnya masukkan benda uji ke dalam saringan dan ayak menggunakan mesin penggoyang atau di ayak secara manual.
- d. Keluarkan benda uji dan timbang benda uji yang tertahan pada saringan.

5. Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus.

- a. Gunakan benda uji dengan keadaan jenuh kering permukaan (SSD).
- b. Ukur dimensi silinder yang akan digunakan.
- c. Letakkan silinder pada tempat yang rata. Untuk berat volume padat masukkan benda uji per $1/3$ bagian dan tiap bagian di tumbuk sebanyak 25 kali, kemudian diratakan dan dikerjakan sampai volume penuh. Untuk

pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan ke dalam silinder hingga penuh (tanpa dilakukan pemadatan) lalu diratakan.

- d. Timbang berat silinder berisi benda uji dan catat hasilnya.
 - e. Hitung volume silinder.
6. Pengujian lolos ayakan no. 200 (Uji kandungan lumpur dalam pasir).
Berdasarkan SNI 03-4142-1996 tentang Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200, urutan pelaksanaan pengujiannya sebagai berikut.
- a. Letakkan benda uji dalam saringan dan timbang beratnya, kemudian alirkan air di atasnya.
 - b. Aduk benda uji dalam saringan dengan aliran air yang cukup deras, sehingga terjadi pemisahan antara butir-butir kasar yang tertinggal dan bagian halus yang menembus saringan No.200.
 - c. Ulangi pekerjaan hingga air pencuci terlihat jernih.
 - d. Keringkan benda uji dalam oven hingga berat tetap kemudian timbang hasilnya.
7. Pengolahan bahan tambah abu sekam padi dan kapur dengan saringan lolos ayakan no.100.
Langkah – langkah dalam pengolahan bahan tambah yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut.
- a. Tumbuk kapur yang telah di beli pada toko bangunan di Kecamatan Sleman.
 - b. Saring kapur dengan saringan no. 100 menggunakan alat pengguncang.
 - c. Abu sekam padi yang didapatkan dari limbah proses pembakaran batu bata merah di Kecamatan Godean di saring dengan saringan no.100 menggunakan alat penggoyang.

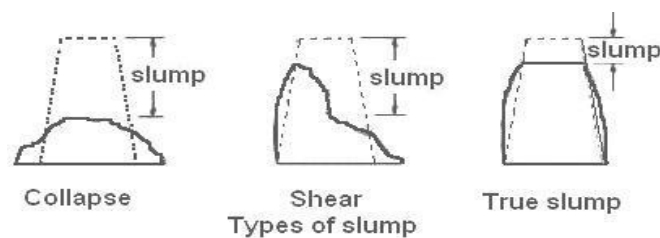
4.5.3 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Dalam tahapan ini agregat yang telah dilakukan pengujian kemudian dilakukan perhitungan rencana campuran (*mix design*). Hasil dari perhitungan perencanaan campuran (*mix design*) akan didapatkan perbandingan berat bahan penyusun beton. Pada penelitian ini perencanaan campuran (*mix design*) mengacu pada SNI 03-2834-2000, menggunakan rancangan mutu beton f'_c 25 MPa.

4.5.4 Pembuatan Benda Uji

Tahapan pembuatan benda uji ini menggunakan benda uji berbentuk silinder yang dibagi menjadi dua jenis yaitu beton dengan bahan substitusi dan beton tanpa bahan substitusi (beton normal). Variasi substitusi yang digunakan pada campuran beton yaitu 7,5%, 10%, dan 12,5% dari berat semen dengan jumlah benda uji 60 buah. Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji yaitu sebagai berikut.

1. Mempersiapkan alat-alat yang akan digunakan.
2. Mempersiapkan cetakan silinder dan olesi dengan oli.
3. Timbang cetakan silinder.
4. Proses pembuatan benda uji dengan mengkondisikan agregat dalam bentuk SSD.
5. Timbang material sesuai dengan perhitungan.
6. Masukkan material ke dalam molen di mulai dari agregat halus, agregat kasar, semen, abu sekam padi dan kapur sampai tercampur rata kemudian masukkan air secara bertahap.
7. Aduk material sampai homogen, tuang campuran beton segar ke dalam talam untuk dilakukan pengujian *slump*. Berdasarkan SNI 03-1972-1990 tata cara pelaksanaan pengujian *slump* yaitu sebagai berikut:
 - a. Basahi cetakan dan pelat.
 - b. Isi beton segar 1/3 dari cetakan dan tusuk sebanyak 25 kali secara merata. Ulangi langkah tersebut hingga penuh.
 - c. Ratakan permukaan kemudian angkat cetakan dengan perlahan secara vertikal.
 - d. Balikkan cetakan dan diletakkan di samping beton segar yang runtuh, ukur penurunan puncak dan catat hasilnya.



Gambar 4. 2 Pembacaan Nilai Slump

8. Masukkan beton segar ke dalam cetakan dengan mengisi 1/3 bagian kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali secara merata. Lakukan pengisian sampai penuh sambil dipadatkan menggunakan palu karet. Pemadatan dilakukan agar beton menjadi padat dan mengurangi rongga-rongga udara yang ada di dalam campuran beton. Ratakan permukaan beton.
9. Timbang cetakan yang sudah terisi campuran beton.
10. Tunggu 24 jam kemudian buka cetakan dengan hati-hati dan diberi kode.

4.5.5 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji memiliki tujuan yaitu untuk menjaga beton agar tetap dalam kondisi lembab, tidak cepat kehilangan air serta mengurangi peningkatan suhu pada beton. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara merendam benda uji ke dalam air di kolam penampung. Waktu yang diperlukan dalam perawatan benda uji menurut SNI 30-2847-2002 untuk jenis semen menggunakan tipe I minimal 7 hari. Pada penelitian ini perawatan beton direndam selama 28 hari, selanjutnya benda uji dikeluarkan dan dilakukan pengujian.

4.5.6 Pengujian Benda Uji

Beton keras yang telah direndam kemudian dilakukan pengujian yaitu kuat tekan beton, kuat tarik beton dan modulus elastisitas. Langkah-langkah dalam pelaksanaan pengujian beton keras yaitu sebagai berikut.

1. Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas.

Pada penelitian ini pengujian kuat tekan beton dan pengujian modulus elastisitas menggunakan sampel yang sama, berikut merupakan cara pengujiannya.

- a. Ukur diameter dan tinggi benda uji dengan 3 kali pembacaan menggunakan jangka sorong.
- b. Timbang benda uji dan catat.
- c. Pasang alat Compressometer- Extensometer dan pengukur deformasi (*dial gauge*) pada benda uji secara benar.
- d. Setelah alat terpasang dengan baik, letakkan benda uji di atas mesin tekan secara simetris.

- e. Jalankan mesin tekan hingga benda uji hancur dan catat beban maksimum yang diterima oleh benda uji.
- f. Catat nilai deformasi yang terjadi pada benda uji setiap mengalami peningkatan 10 KN, lalu catat nilai yang terjadi saat regangan mencapai 50×10^{-6} .

2. Kuat Tarik Beton

Cara pengujian kuat tarik beton menurut SNI 03-2491-2002 yaitu sebagai berikut.

- a. Ukur dimensi dan tinggi benda uji kemudian timbang benda uji
- b. Pemberian tanda benda uji. Tarik garis tengah pada tiap ujung benda uji.
- c. Letakkan pelat atau alat penekan di atas meja bagian bawah mesin secara simetris.
- d. Letakkan benda uji di atas bantalan hingga tanda garis tengah terlihat tegak lurus terhadap titik tengah bantalan.
- e. Letakkan bantalan yang kedua di atas benda uji.
- f. Jalankan mesin uji tekan dengan memberikan beban secara terus menerus hingga benda uji hancur atau terbelah.

4.5.7 Analisa Hasil Penelitian

Pada tahapan ini dilakukan analisis berupa data-data yang diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Analisa hasil penelitian yang akan dilaksanakan sebagai berikut.

1. Analisa nilai kuat tekan beton

Tahap analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui mutu kekuatan beton keras. Nilai kuat tekan beton pada penelitian ini diperoleh dari beban maksimum pengujian modulus elastisitas beton. Kemudian dilakukan perhitungan nilai kuat tekan menggunakan rumus 3.13.

2. Analisa nilai kuat tarik belah beton

Tahap analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai kuat tarik beton yang diperoleh dari pengujian kuat tarik belah silinder beton. Perhitungan untuk menentukan nilai kuat tarik belah beton menggunakan rumus 3.14.

3. Analisa nilai modulus elastisitas

Pada tahap analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas yang diperoleh dari pengujian modulus elastisitas yaitu nilai regangan. Kemudian nilai regangan yang diketahui dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai elastisitas menggunakan rumus 3.15.

4. Analisa data keseluruhan

Tahap ini dilakukan analisa untuk menentukan pengaruh dan nilai persentase tertinggi dari semua variasi abu sekam padi dan kapur terhadap nilai pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas.

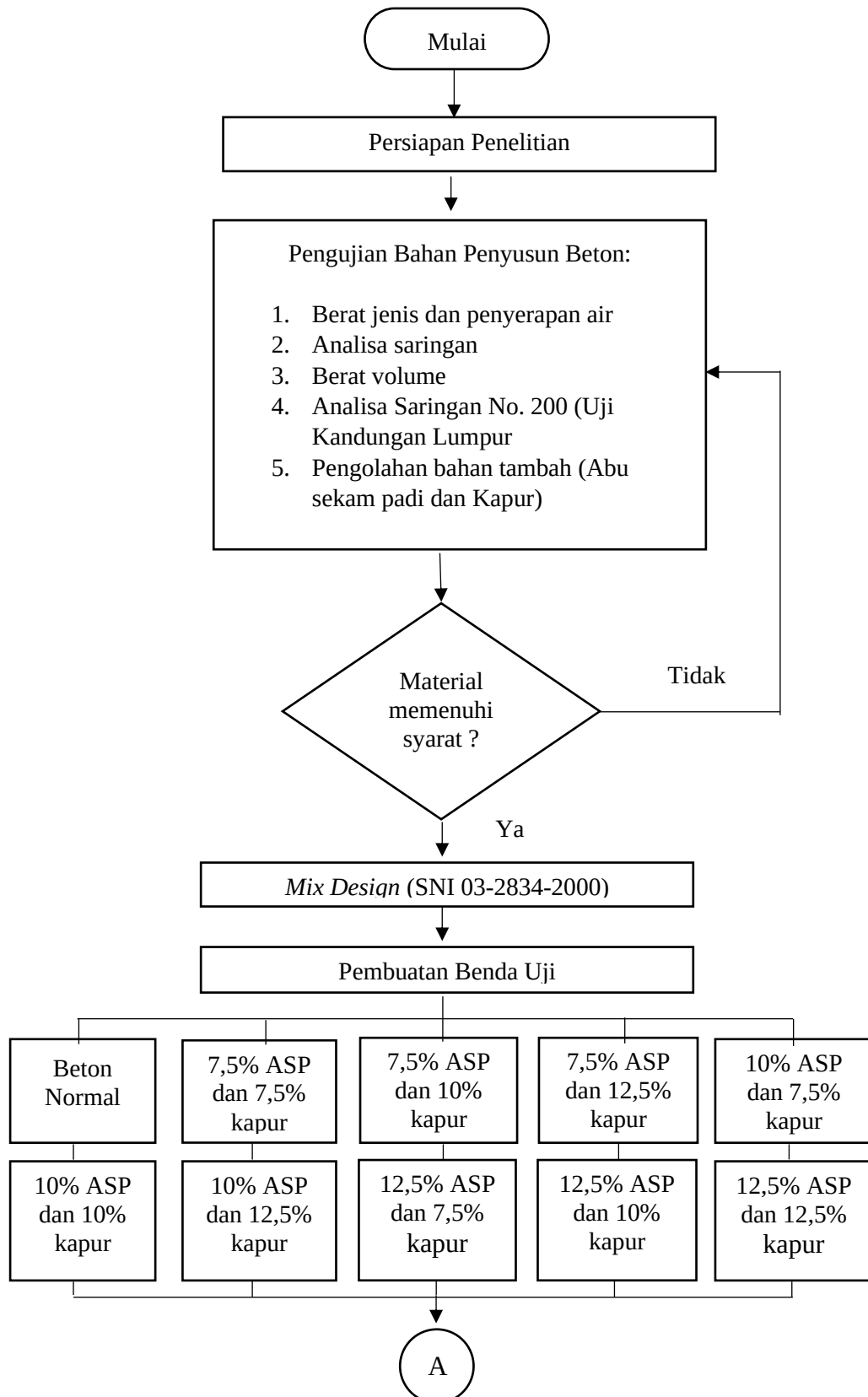
4.5.8 Pembahasan

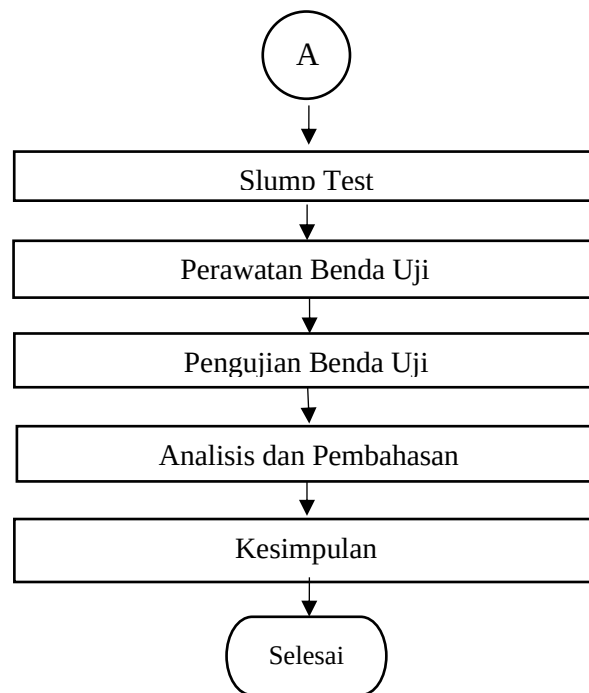
Tahap pembahasan ini dijelaskan mengenai pengaruh penggantian sebagian semen menggunakan abu sekam padi dan kapur terhadap nilai kuat tekan, nilai kuat tarik dan modulus elastisitas beton yang dihasilkan. Selain itu menjelaskan proporsi campuran beton yang terbaik dengan menggunakan berbagai variasi serta menjelaskan mengenai pengaruh abu sekam padi dan kapur sebagai bahan pengganti semen.

4.5.9 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini hasil dari analisis dan pembahasan akan di tarik kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian yaitu dapat mengetahui pengaruh abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton dan mengetahui persentase tertinggi untuk membuat campuran beton yang lebih baik serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

4.6 Alur Penelitian





Gambar 4. 3 Diagram Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Agregat

Hasil pengujian agregat sangat penting dilakukan untuk mengetahui spesifikasi dari setiap agregat yang akan digunakan dalam proses pencampuran beton. Agregat yang akan dilakukan pengujian yaitu agregat halus dan kasar. Agregat tersebut harus memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran beton agar menghasilkan kualitas beton yang baik.

5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pasir merapi. Pengujian agregat halus yang akan dilakukan terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume padat dan gembur serta pengujian lolos saringan no.200 (pengujian kandungan lumpur dalam pasir).

1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Pelaksanaan dan analisis dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini menggunakan metode sesuai dengan SNI 03-1970-1990. Adapun hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	481	485	483
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	954,3	952	953,15
Berat piknometer berisi air, gram (B)	648,25	646	647,13

Lanjutan Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 1	
Berat Jenis Curah $B_k / (B + 500 - B_t)$ (1)	2,48	2,50	2,49
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) $500 / (B + 500 - B_t)$ (2)	2,58	2,58	2,58
Berat Jenis semu $B_k / (B + B_k - B_t)$ (3)	2,75	2,71	2,73
Penyerapan Air $(500-B_k)/B_k \times 100\%$ (4)	3,95%	3,09%	3,52%

Berdasarkan Tabel 5.1 diperoleh hasil rata-rata pengujian berat jenis jenuh kering muka (SSD) sebesar 2,58 dan penyerapan air sebesar 3,52%. Dari hasil tersebut maka berat jenis agregat halus yang digunakan katagori standar karena diantara 2,4 – 2,7.

2. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus ini bertujuan untuk menentukan modulus halus butir dan gradasi sesuai dengan SNI 03-1968-1990. Adapun hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tebl 5.2 berikut.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,0				
20,0				
10,0		0,00%	0,00%	100,00%
4,8	10	0,50%	0,50%	99,50%
2,4	254	12,75%	13,25%	86,75%
1,2	241	12,10%	25,35%	74,65%
0,6	521	26,15%	51,51%	48,49%
0,3	502	25,20%	76,71%	23,29%
0,15	281	14,11%	90,81%	9,19%
Sisa	183	9,19%	100,00%	0,00%
Jumlah	1992	100,00%	258,13%	

Berdasarkan Tabel 5.2 maka dapat diketahui nilai dari modulus halus butir (MHB) yaitu sebagai berikut.

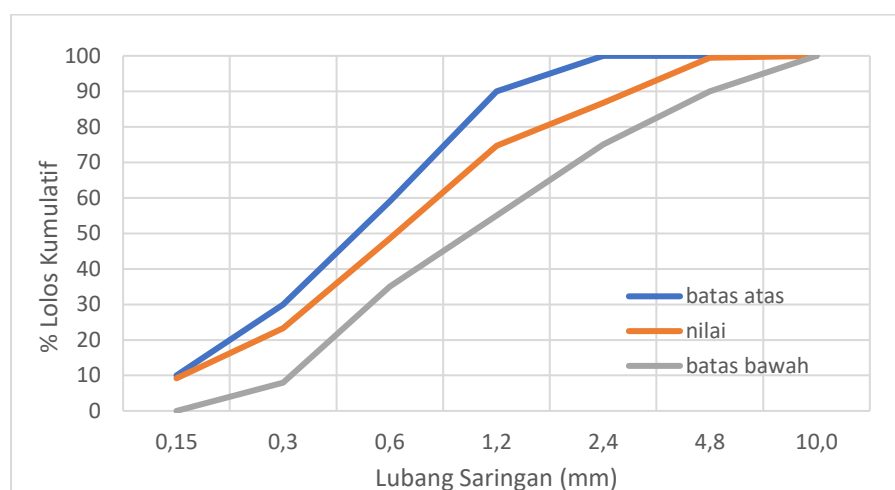
$$\begin{aligned}\text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\ &= \frac{258,13}{100} \\ &= 2,58\end{aligned}$$

Dari analisis tersebut diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebesar 2,58. Pada SK SNI S-04-1989-f modulus halus butir agregat halus memiliki nilai antara 1,5 – 3,8 maka agregat halus yang digunakan telah memenuhi persyaratan. Hasil nilai modulus halus butir kemudian digunakan untuk mengetahui daerah gradasi agregat halus. Berikut merupakan Tabel 5.3 daerah gradasi dari agregat halus.

Tabel 5. 3 Daerah Gradasi Agregat Halus

GRADASI PASIR				
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II

Berdasarkan Tabel 5.3 dan Gambar 5.1 maka didapatkan hasil daerah gradasi agregat halus memenuhi daerah II yaitu jenis pasir agak kasar.

3. Hasil Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus mengacu pada SNI 03-4804-1998. Adapun hasil pengujian dari berat volume gembur dan padat dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung, gram (W1)	11200	12500	11850
Berat Tabung + Agregat kering tungku, gram (W2)	18750	20050	19400
Berat Agregat, gram (W3)	7550	7550	7550
Volume Tabung, cm ³ (V)	5382,94	5319,11	5351,02
Berat Volume Gembur, gram/cm ³ (W3/V)	1,40	1,42	1,41

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil		Rata - Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung, gram (W1)	11500	12500	12000
Berat Tabung + Agregat kering tungku, gram (W2)	20600	21200	20900
Berat Agregat, gram (W3)	9100	8700	8900
Volume Tabung, cm ³ (V)	5382,94	5319,11	5351,02
Berat Volume Padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,69	1,64	1,66

Dari Tabel 5.4 didapatkan hasil pengujian berat volume gembur agregat halus sebesar 1,41 gram/cm³ dan Tabel 5.5 hasil pengujian berat volume padat agregat halus didapatkan sebesar 1,66 gram/cm³. Dari kedua hasil tersebut dapat diketahui bahwa berat volume padat lebih besar daripada berat volume gembur, hal itu dikarenakan pada saat pengujian berat volume padat dilakukan pemadatan sehingga rongga-rongga udara dapat terisi oleh agregat halus.

4. Hasil Pengujian lolos Saringan No.200

Pengujian lolos saringan No. 200 dimaksudkan untuk mengetahui persentase dari kandungan lumpur dalam agregat halus yang lolos dari ayakan No.200. Adapun hasil pengujian lolos saringan No. 200 dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No 200 Agregat Halus

Uraian	Hasil		Rata - Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Agregat Kering Oven, gram (W1)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci, gram (W2)	480,95	485,3	483,125
Berat yang Lolos Ayakan No. 200 $[(w1 - w2)/w1] \times 100\%$	3,81%	2,94%	3,38%

Berdasarkan Tabel 5.6 hasil pengujian lolos saringan no. 200 agregat halus didapatkan nilai sebesar 3,38 %. Berdasarkan PBI 1971 persyaratan kandungan lumpur kurang dari 5% terhadap berat kering, maka agregat yang digunakan dalam campuran beton memenuhi persyaratan.

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pada penelitian ini agregat kasar menggunakan batu pecah yang berasal dari Merapi. Pengujian agregat kasar dilakukan beberapa pengujian yang terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisa saringan, serta pengujian berat volume gembur dan padat.

1. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pelaksanaan dan analisis dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar ini menggunakan metode sesuai dengan SNI 03-1970-1990. Adapun hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil		Rata - rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4904	4851	4877,5
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3020	3090	3055
Berat Jenis Curah $Bk / (B + 500 - Bt)$ (1)	2,48	2,54	2,51
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) $500 / (B + 500 - Bt)$ (2)	2,53	2,62	2,57
Berat Jenis semu $Bk / (B + Bk - Bt)$ (3)	2,60	2,75	2,68
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$ (4)	1,96%	3,07%	2,51%

Berdasarkan Tabel 5.7 diperoleh hasil rata-rata pengujian berat jenis jenuh kering muka (SSD) sebesar 2,57 gram/cm³ dan penyerapan air sebesar 2,51 %. Dari hasil tersebut maka berat jenis agregat kasar yang digunakan katagori standar karena berat jenis berada antara 2,5 – 2,7.

2. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat kasar ini bertujuan untuk menentukan modulus halus butir dan gradasi sesuai dengan SNI 03-1968-1990. Adapun hasil pengujian analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tebl 5.2 berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,0	0	0,00%	0,00%	100,00%
20,0	68	1,38%	1,38%	98,62%
10,0	3651	73,97%	75,34%	24,66%
4,8	1208	24,47%	99,82%	0,18%
2,4	0	0,00%	99,82%	0,18%

Lanjutan Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1,2	0	0,00%	99,82%	0,18%
0,6	0	0,00%	99,82%	0,18%
0,3	0	0,00%	99,82%	0,18%
0,15	0	0,00%	99,82%	0,18%
Sisa	9	0,18%	100,00%	0,00%
Jumlah	4936	100,00%	675,63%	

Berdasarkan Tabel 5.8 maka dapat diketahui nilai dari modulus halus butir (MHB) yaitu sebagai berikut.

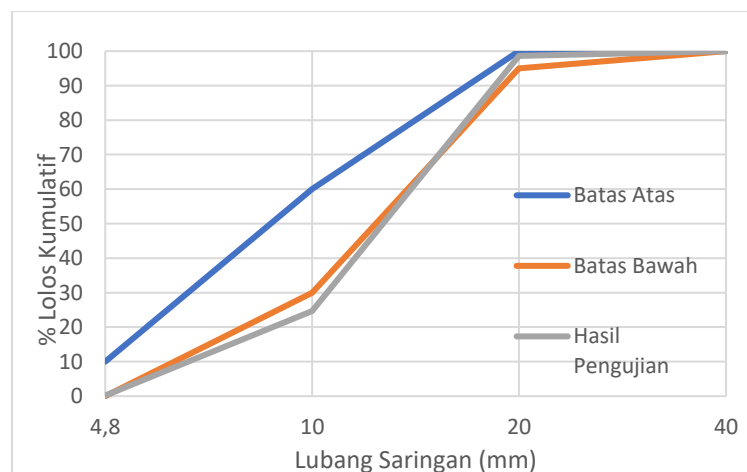
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{675,63}{100} \\
 &= 6,75
 \end{aligned}$$

Dari analisis tersebut diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) agregat kasar sebesar 6,75. Berdasarkan persyaratan yang telah ditetapkan pada SK SNI S-04-1989-f modulus halus butir agregat kasar memiliki nilai antara 5,0 – 8,0, maka agregat kasar yang digunakan dalam penelitian telah memenuhi persyaratan. Hasil nilai modulus halus butir digunakan untuk mengetahui ukuran agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton. Berikut merupakan Tabel 5.9 daerah gradasi dari agregat kasar.

Tabel 5. 9 Daerah Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Ayakan	Persentase berat bagian yang lewat ayakan (%)		
(mm)	Ukuran nominal agregat (mm)		
	40	20	10
40	95 - 100	100	-
20	37 - 70	95 - 100	100
10	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,8	0 - 5	0 – 10	0 - 10

Sumber : SNI 03-2834-2000

**Gambar 5. 2 Grafik Gradasi Agregat Kasar**

Berdasarkan Tabel 5.9 dan Gambar 5.2 didapatkan hasil ukuran maksimum agregat sebesar 20 mm. Pada analisa saringan didapatkan gradasi sela karena terdapat distribusi ukuran saringan 10 mm tidak terpenuhi.

3. Hasil Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar mengacu pada SNI 03-4804-1998, adapun hasil pengujian dari berat volume gembur dan padat agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil		Rata - Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung, gram (W1)	12500	11200	12000
Berat Tabung + Agregat kering tungku, gram (W2)	19700	18600	19150
Berat Agregat, gram (W3)	7200	7400	7150
Volume Tabung, cm ³ (V)	5287,31	5382,94	5335,12
Berat Volume Gembur, gram/cm ³ (W3/V)	1,36	1,37	1,368

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil		Rata - Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung, gram (W1)	12500	11200	11850
Berat Tabung + Agregat kering tungku, gram (W2)	20100	18800	19450
Berat Agregat, gram (W3)	7600	7600	7600
Volume Tabung, cm ³ (V)	5319,11	5382,94	5351,02
Berat Volume Padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,43	1,41	1,42

Dari Tabel 5.10 didapatkan hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,368 gram/cm³ dan Tabel 5.11 hasil pengujian berat volume padat agregat kasar didapatkan sebesar 1,42 gram/cm³. Dari kedua hasil tersebut dapat diketahui bahwa berat volume padat lebih besar daripada berat volume gembur, hal itu dikarenakan pada saat pengujian berat volume padat dilakukan pemadatan sehingga rongga-rongga udara dapat terisi oleh agregat kasar.

5.2 Hasil Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Dalam penelitian ini perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan metode sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Perhitungan untuk menentukan campuran beton sebagai berikut.

1. Menentukan nilai kuat tekan rerata (f'_{cr}).

Pada penelitian ini menggunakan kuat tekan rencana (f'_c) sebesar 25 Mpa, kemudian sampel yang digunakan kurang dari 15 buah maka perhitungan nilai kuat tekan rerata (f'_{cr}) menggunakan rumus $f'_c + 12$.

$$f'_{cr} = f'_c + 12$$

$$f'_{cr} = 25 + 12$$

$$f'_{cr} = 37 \text{ MPa}$$

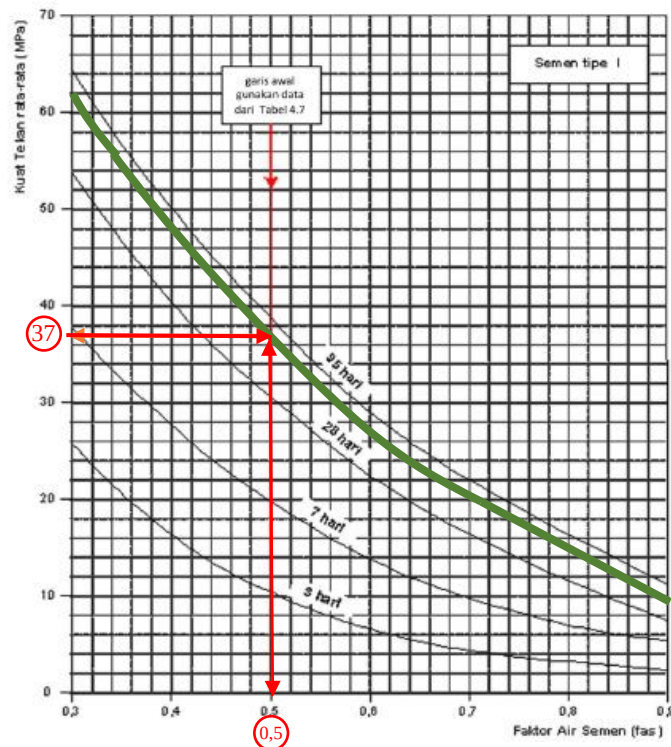
2. Jenis semen yang akan digunakan untuk campuran beton seharusnya menggunakan semen tipe I, namun karena keterbatasan mendapatkan semen tipe I sehingga digunakan PCC dengan merek Dynamix yang hampir sama kekuatannya dengan semen tipe I.
3. Jenis agregat yang digunakan untuk campuran beton yaitu sebagai berikut.
 - a. Agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah berasal dari Merapi.
 - b. Agregat halus yang digunakan yaitu pasir alami berasal dari Merapi.
4. Menentukan nilai faktor air semen (f_{as})
 - a. Memperkirakan kuat tekan pada f_{as} 0,5. Berdasarkan Tabel 5.12 dengan jenis semen yaitu semen portland tipe I, jenis agregat kasar yaitu batu pecah dan umur benda uji yaitu 28 hari maka didapatkan nilai kuat tekan sebesar 37 MPa.

Tabel 5. 12 Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan $f_{as} = 0,5$

Jenis Semen	Jenis Agregat	Kekuatan Tekan (MPa)				Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II dan V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

- b. Menentukan nilai faktor air semen (fas) sesungguhnya menggunakan grafik pada Gambar 5.3, diperoleh faktor air semen sebesar 0,5.



Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

Sumber: SNI 03-2834-2000

5. Menentukan nilai *slump*.

Pada penelitian ini nilai *slump* sudah direncanakan yaitu 60 – 180 mm.

6. Menentukan ukuran agregat maksimum.

Berdasarkan pengujian material pada analisa saringan agregat kasar diperoleh ukuran maksimum sebesar 20 mm.

7. Menentukan kadar air bebas.

Dalam menentukan kadar air bebas ini berdasarkan Tabel 5.12 dengan diketahui nilai *slump* yaitu 60-180 mm dan ukuran butir maksimum agregat sebesar 20 mm.

Tabel 5. 13 Perkiraan Kadar Air Bebas

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

Berdasarkan Tabel 5.13 di atas diperoleh perkiraan jumlah kadar air bebas untuk agregat halus (W_{ah}) sebesar 195 dan kadar air bebas untuk agregat kasar (W_{ak}) sebesar 225. Maka untuk menghitung kadar air bebas agregat campuran menggunakan rumus (3.9) yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar air bebas } (W_{air}) &= \frac{2}{3} \times W_{ah} + \frac{1}{3} \times W_{ak} \\
 &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

8. Menentukan jumlah semen.

Dalam menentukan jumlah semen yang akan digunakan untuk campuran beton menggunakan rumus (3.10) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Semen } (W_{pc}) &= \frac{\text{Kasar air bebas}}{\text{faktor air semen}} \\
 &= \frac{205}{0,5} \\
 &= 410 \text{ kg/m}^3.
 \end{aligned}$$

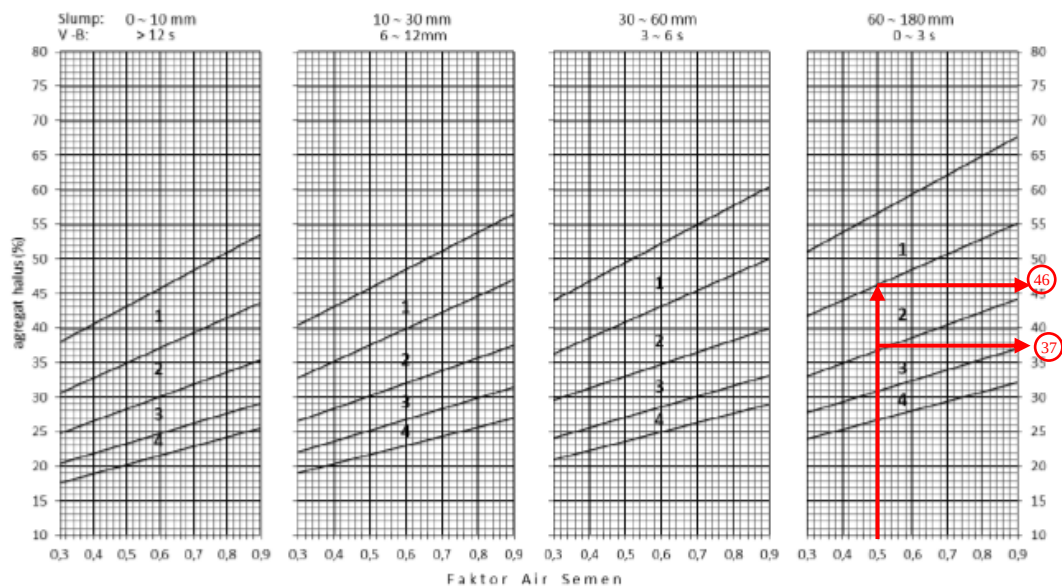
9. Menentukan jumlah minimum semen dan faktor air semen (fas) maksimum.

Perhitungan jumlah semen jika sudah memenuhi persyaratan (pada Tabel 3.8) yaitu syarat minimumnya 275 kg/m^3 maka jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton adalah 410 kg/m^3 .

Sedangkan faktor air semen maksimum menurut Tabel 3.8 yaitu 0,6 sehingga faktor air semen yang digunakan yaitu faktor air semen terkecil sebesar 0,5.

10. Menentukan persentase agregat halus.

Berdasarkan pengujian material pada analisa saringan agregat diperoleh ukuran agregat maksimum sebesar 20 mm, gradasi agregat di daerah II dan nilai slump 60-180mm, sehingga untuk menentukan persentase agregat menggunakan grafik sebagai berikut.



Gambar 5. 4 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Total untuk Ukuran Butiran Maksimum 20 mm

Berdasarkan Gambar 5.4 didapatkan persentase dengan batas atas sebesar 46% dan batas bawah sebesar 37 %. Sehingga persentase agregat halus yang dibutuhkan yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Persentase agregat halus} &= \frac{\text{batas atas} + \text{batas bawah}}{2} \\ &= \frac{46 + 37}{2} \\ &= 41,5 \% \end{aligned}$$

11. Menentukan persentase agregat kasar

Untuk mengetahui nilai persentase agregat kasar dapat dihitung dengan rumus (3.17) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Persentase agregat kasar} &= 100 \% - \text{Persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 41,5\% \\ &= 58,5\% \end{aligned}$$

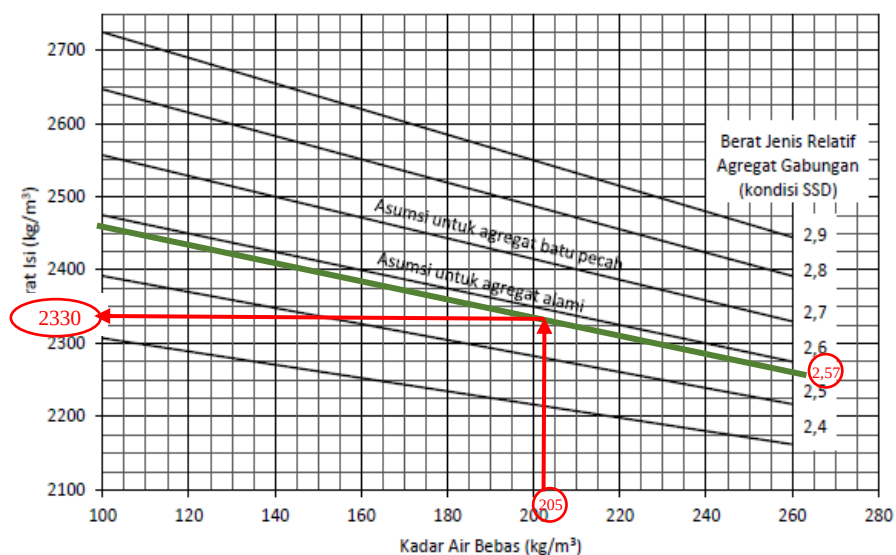
12. Menentukan berat jenis relatif agregat.

Untuk menentukan nilai berat jenis relatif ini menggunakan rumus (3.11) yang diperoleh dari hasil pengujian material berat jenis agregat halus (BJ_{ah}) dan berat jenis agregat kasar (BJ_{ak}), yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis agregat halus} &= 2,58 \\
 \text{Berat jenis agregat kasar} &= 2,57 \\
 \text{Berat jenis relatif agregat} &= (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \\
 &= (41,5\% \times 2,58) + (58,5\% \times 2,57) \\
 &= 2,57\%
 \end{aligned}$$

13. Menentukan berat isi beton

Berat isi beton ditentukan dari nilai kadar air bebas dan berat jenis relatif menggunakan grafik pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5. 5 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah Selesai Dipadatkan
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari grafik tersebut diperoleh nilai berat isi beton sebesar 2330 kg/m^3 .

14. Menentukan kadar agregat gabungan

Berdasarkan rumus 3.13 kadar agregat gabungan dapat diketahui sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\
 &= 2330 - 410 - 205 \\
 &= 1715 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

15. Menentukan kadar agregat halus

Untuk menentukan nilai kadar agregat halus dapat menggunakan rumus 3.14 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat halus} &= \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= \frac{41,5\%}{100} \times 1715 \\ &= 711,73 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

16. Menentukan kadar agregat kasar

Untuk menentukan nilai kadar agregat kasar dapat menggunakan rumus 3.15 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat kasar} &= \text{Kadar Agregat Gabungan} - \text{Kadar Agregat Halus} \\ &= 1715 - 711,73 \\ &= 1003,27 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

17. Menentukan proporsi campuran beton untuk tiap m^3

Dalam menentukan proporsi campuran beton ini menggunakan perhitungan-perhitungan di atas, yaitu sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 711,73 kg
- d. Agregat kasar = 1003,27 kg

18. Menentukan proporsi campuran dengan faktor angka penyusutan 15%

Proporsi campuran beton untuk tiap 1m^3 selanjutnya dilakukan penyusutan sebesar 15%, maka hasil penyusutannya sebagai berikut.

- a. Semen = $410 \text{ kg} \times 1,15$
= 471,5 kg
- b. Air = $205 \text{ kg} \times 1,15$
= 235,75 kg
- c. Agregat halus = $711,73 \text{ kg} \times 1,15$
= 818,49 kg
- d. Agregat kasar = $1003,27 \text{ kg} \times 1,15$
= 1153,76 kg

19. Menentukan proporsi campuran untuk tiap satu variasi

Dalam penelitian ini untuk setiap satu variasi terdapat 6 buah sampel berbentuk silinder, berikut merupakan proporsi campuran untuk tiap satu variasi.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter (d)} &= 15 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi (t)} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Volume (v)} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= 0,25 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\
 &= 0,00530 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume 6 silinder} &= 6 \times \text{volume} \\
 &= 6 \times 0,00530 \\
 &= 0,0318 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga berat masing-masing proporsi campuran beton untuk tiap satu variasi (6 buah sampel berbentuk silinder) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Semen} &= \text{Volume campuran untuk tiap m}^3 \times \text{volume 6 silinder} \\
 &= 471,5 \times 0,0318 \\
 &= 14,993 \text{ kg} \\
 \text{b. Air} &= \text{Volume campuran untuk tiap m}^3 \times \text{volume 6 silinder} \\
 &= 235,75 \times 0,0318 \\
 &= 7,496 \text{ kg} \\
 \text{c. Agregat halus} &= \text{Volume campuran untuk tiap m}^3 \times \text{volume 6 silinder} \\
 &= 818,49 \times 0,0318 \\
 &= 26,027 \text{ kg} \\
 \text{d. Agregat kasar} &= \text{Volume campuran untuk tiap m}^3 \times \text{volume 6 silinder} \\
 &= 1153,76 \times 0,0318 \\
 &= 36,68 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

20. Rekapitulasi perhitungan proporsi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5. 14 Hasil Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton (Mix Design)

Formulir perencanaan campuran beton metode SNI SNI 03-2834-2000				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan yang Disyaratkan f'_c	25	MPa	
2	Deviasi Standar (s)	7		Tabel 1
3	Nilai Tambah (M)	12	MPa	$M = 1.6 \cdot S$
4	Kuat Tekan yang Ditargetkan f'_{cr}	37	MPa	(1)+(3)
5	Jenis Semen	PCC		Ditetapkan
6	Jenis Agregat			
	Kasar	batu pecah		Ditetapkan
	Halus	alami		Ditetapkan
7	Faktor Air Semen	0.5		
8	Faktor Air Semen Maksimum	0.6		
9	Faktor Air Semen Dipakai	0.5		
10	Slump	60-180	mm	Ditetapkan
11	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	Ditetapkan
12	Kadar Air Bebas	205	kg/m ³	Tabel 5.13
13	Jumlah Semen	410	kg/m ³	(11):(8)
14	Jumlah Semen Maksimum	-		
15	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m ³	Tabel 3.8
16	Jumlah Semen Dipakai	410	kg/m ³	
17	Faktor Air Semen yang Disesuaikan	0,5		
18	Susunan Butir Agregat Halus	Daerah II		Daerah gradasi
19	Berat Jenis Agregat Kasar	2,57		lab
	Berat Jenis Agregat Halus	2,58		lab
20	Persen Agregat halus	41,55		Grafik 5.4
21	Berat Jenis Relatif Agregat Gabungan SSD	2,57		
22	Berat Isi Beton Sementara	2330	kg/m ³	Grafik 5.5
23	Kadar Agregat Gabungan	1715	kg/m ³	(23)-(12)-(16)
24	Kadar Agregat Halus	711,73	kg/m ³	(24) × (21)
25	Kadar Agregat Kasar	1003,27	kg/m ³	(24)-(25)

Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton (Mix Design)

Formulir perencanaan campuran beton metode SNI SNI 03-2834-2000					
	Jumlah bahan (teoritis)	semen (kg)	Air (kg)	Agregat Kondisi SSD	
				Halus (kg)	Kasar (kg)
27	Proporsi Campuran Teoritis (Agregat Kondisi SSD):				
	Setiap m ³ :	410	205	711,73	1003,27
	Setiap campuran uji :	13,042	6,521	22,640	31,914
28	Proporsi Campuran dengan Angka Penyusutan 15%				
	Setiap m ³ :	471,5	235,75	818,49	1153,776
	Setiap campuran uji :	14,993	7,496	26,027	36,68

21. Menentukan proporsi dari abu sekam padi dan kapur

Dalam penelitian ini proporsi abu sekam padi dan kapur ini di hitung berdasarkan berat semen yang digunakan dalam campuran beton. Proporsi abu sekam padi, kapur dan bahan penyusun lain dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Kebutuhan Campuran Beton dengan Abu Sekam Padi dan Kapur

Kode Benda Uji	Variasi Benda Uji (%)		Semen (kg)	Kapur (kg)	ASP (kg)	Air (kg)	Agregat (kg)	
	Kapur	ASP					Halus	Kasar
BN-0	0	0	14,993	0	0	7,496	26,03	36,68
A-7,5	7,5	7,5	12,744	1,124	1,124	7,496	26,03	36,68
A-10		10	12,369	1,124	1,499	7,496	26,03	36,68
A-12,5		12,5	11,994	1,124	1,874	7,496	26,03	36,68
B-7,5	10	7,5	12,369	1,499	1,124	7,496	26,03	36,68
B-10		10	11,994	1,499	1,499	7,496	26,03	36,68
B-12,5		12,5	11,620	1,499	1,874	7,496	26,03	36,68
C-7,5	12,5	7,5	11,994	1,874	1,124	7,496	26,03	36,68
C-10		10	11,620	1,874	1,499	7,496	26,03	36,68
C-12,5		12,5	11,245	1,874	1,874	7,496	26,03	36,68

5.3 Hasil Pengujian Beton

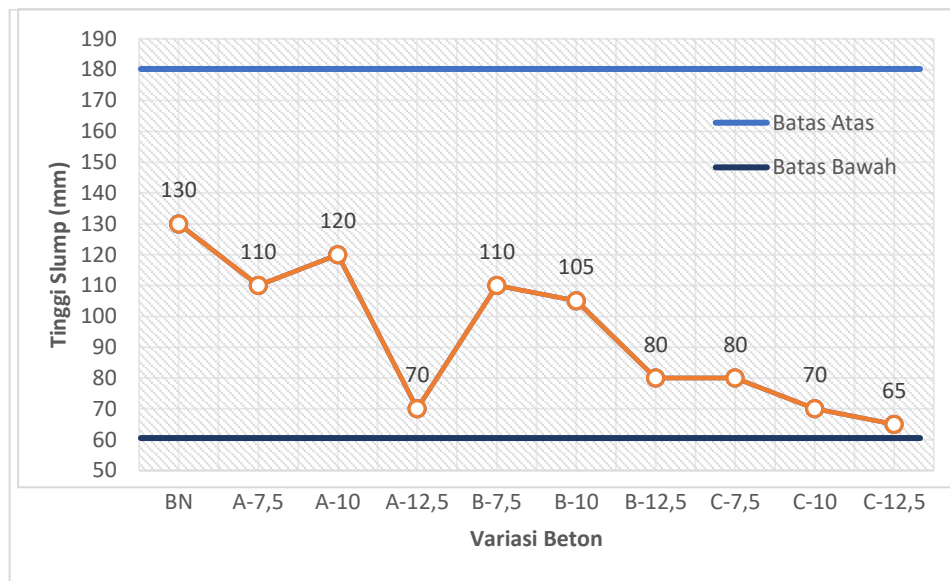
Pengujian beton pada penelitian ini terdiri dari pengujian beton segar dan pengujian beton keras. Pengujian beton segar terdiri dari pengujian slump sedangkan hasil pengujian beton keras terdiri dari kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton. Hasil pengujian dapat dilihat sebagai berikut.

5.3.1 Hasil Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan pada beton segar yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kelecakan atau kenudahan pengerjaan (*workability*). Adukan beton segar yang kental menunjukkan nilai slump rendah sebaliknya jika adukan encer menunjukkan nilai slump tinggi. Pada penelitian ini nilai slump yang digunakan sebesar 60-180 mm. Hasil pengujian slump terdapat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Slump

No	Kode Benda Uji	Kadar Kapur (%)	Kadar ASP (%)	Tinggi Slump (mm)	Keterangan
1	BN-0	0	0	130	Memenuhi
2	A-7,5	7,5	7,5	110	Memenuhi
3	A-10		10	120	Memenuhi
4	A-12,5		12,5	70	Memenuhi
5	B-7,5	10	7,5	110	Memenuhi
6	B-10		10	105	Memenuhi
7	B-12,5		12,5	80	Memenuhi
8	C-7,5	12,5	7,5	80	Memenuhi
9	C-10		10	70	Memenuhi
10	C-12,5		12,5	65	Memenuhi



Gambar 5. 6 Grafik Hasil Pengujian Slump

Berdasarkan Tabel 5.16 hasil pengujian slump didapatkan seluruh variasi memenuhi nilai slump rencana yaitu antara 60-180 mm. Grafik pada gambar 5.6 menunjukkan seiring dengan bertambahnya kadar abu sekam padi dan kapur yang digunakan maka semakin rendah nilai slump yang dihasilkan sehingga mempengaruhi tingkat *workability*. Kondisi ini disebabkan abu sekam padi dan kapur mempunyai daya serap air yang tinggi. Beberapa peneliti juga menyebutkan bahwa penggunaan abu sekam padi dalam campuran beton dapat menyebabkan nilai slump menjadi rendah. Menurut Lubis (2004) abu sekam padi mempunyai sifat hidroskopis sehingga air yang seharusnya digunakan untuk campuran beton justru diserap oleh abu sekam padi. Hal itu selaras dengan penelitian Mulyono (2007) yang menjelaskan bahwa semakin bertambahnya kadar kapur dalam campuran beton menyebabkan air dalam campuran akan terserap ke dalam kapur, sehingga mengurangi kemudahan dalam pekerjaan.

5.3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan tertinggi dengan berbagai variasi antara abu sekam padi dan kapur. Pengujian ini dilakukan setelah proses perawatan atau *curing* selama 28 hari. Benda uji yang dilakukan pengujian sebanyak 30 sampel berbentuk silinder dan diuji dengan

menggunakan alat CTM (*Compresion Testing Machine*). Perhitungan kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan 3.13, berikut perhitungan kuat tekan beton pada variasi A-7,5 (1).

Diketahui:

$$P = 355000 \text{ N}$$

$$D = 150,63 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 150,63^2 \\ &= 17820,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{355000}{1780,2} \\ &= 19,92 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Gambar 5.7 berikut.

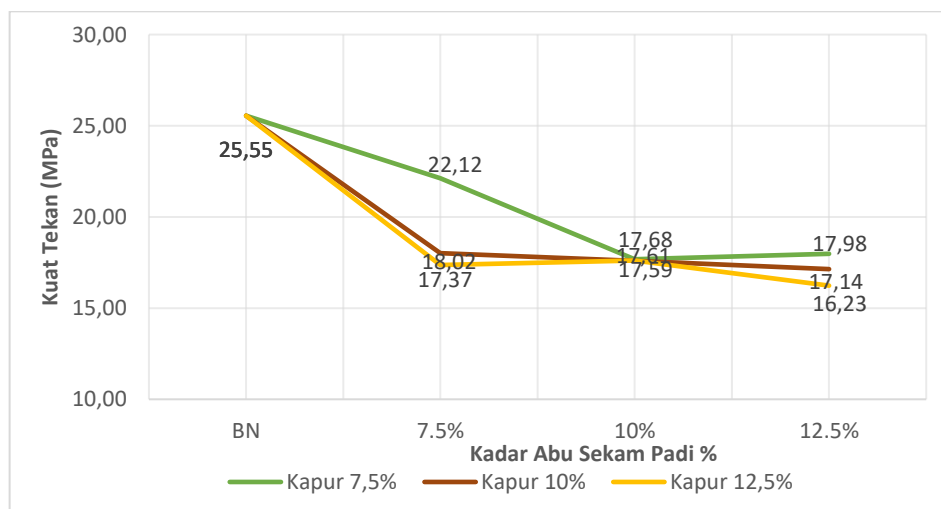
Tabel 5. 17 Hasil Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan

No.	Kode	Kadar Kapur (%)	Kadar ASP (%)	Beban (N)	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
1	BN 0 (1)	0	0	445000	150.23	17725.7	25.10	25.55
2	BN 0 (2)			468000	150.75	17848.6	26.22	
3	BN 0 (3)			450000	150.41	17768.2	25.33	
4	A-7,5 (1)	7,5	7,5	355000	150.63	17820.2	19.92	22.12
5	A-7,5 (2)			405000	150.63	17820.2	22.73	
6	A-7,5 (3)			420000	150.13	17702.1	23.73	
7	A-10 (1)		10	310000	149.83	17631.4	17.58	17.68
8	A-10 (2)			350000	150.50	17789.5	19.67	
9	A-10 (3)			282000	150.83	17867.6	15.78	
10	A-12,5 (1)		12,5	327000	150.21	17721	18.45	17.98
11	A-12,5 (2)			310000	151.60	18050.5	17.17	
12	A-12,5 (3)			325000	150.27	17735.1	18.33	
13	B-7,5 (1)	10	7,5	298000	151.93	18129.13	16.44	18.02
14	B-7,5 (2)			328000	150.33	17749.3	18.48	
15	B-7,5 (3)			338000	149.97	17664.39	19.13	

Lanjutan Tabel 5. 17 Hasil Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan

No.	Kode	Kadar Kapur (%)	Kadar ASP (%)	Beban (N)	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
16	B-10 (1)		10	305000	150.58	17808.38	17.13	17.59
17	B-10 (2)			316000	149.92	17652.61	17.90	
18	B-10 (3)			315000	150.41	17768.19	17.73	
19	B-12,5 (1)		12,5	203000	150.53	17796.56	11.41*	17.14
20	B-12,5 (2)			310000	150.30	17742.22	17.47	
21	B-12,5 (3)			297000	150.02	17675.23	16.80	
22	C-7,5 (1)	12,5	7,5	281000	150.78	17855.72	15.74	17,37
23	C-7,5 (2)			246000	150.18	17714.6	13.89	
24	C-7,5 (3)			335000	149.85	17636.13	19.00	
25	C-10 (1)		10	315000	150.98	17903.12	17.59	17.61
26	C-10 (2)			330000	150.43	17772.92	18.57	
27	C-10 (3)			295000	150.08	17691.02	16.68	
28	C-12,5 (1)		12,5	265000	150.27	17735.13	14.94	16.23
29	C-12,5 (2)			269000	150.92	17888.89	15.04	
30	C-12,5 (3)			332000	150.27	17735.13	18.72	

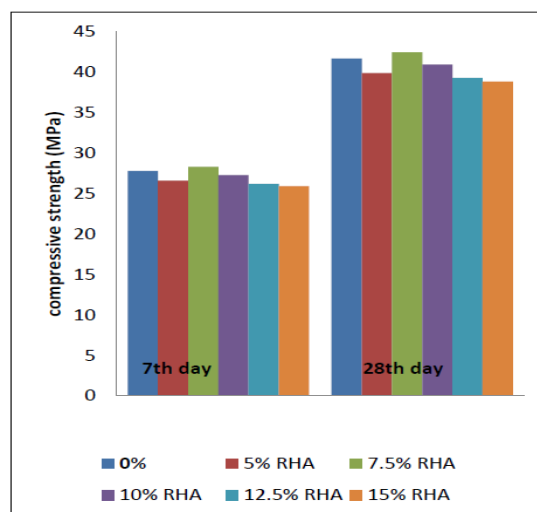
* data tidak digunakan karena nilai ekstrim



Gambar 5. 7 Grafik Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 5.7 di atas dapat diketahui bahwa hasil kuat tekan untuk beton normal adalah 25,55 MPa. Penggunaan abu sekam padi dan kapur pada penelitian ini tidak bisa menggantikan semen karena kuat tekan yang dihasilkan berada di bawah beton normal. Hasil kuat tekan tertinggi diperoleh 22,12 MPa yaitu

pada saat penggunaan kadar abu sekam padi 7,5% dan kapur 7,5% sedangkan hasil kuat tekan terendah sebesar 16,23 MPa yaitu pada saat penggunaan abu sekam padi 12,5% dan kapur 12,5%. Dari grafik keseluruhan di atas dapat dilihat bahwa variasi penggunaan abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen sebagian besar mengalami penurunan, grafik di atas terlihat mengalami penurunan terus menerus seperti pada kadar kapur 7,5% dan 10%. Namun pada pada pengujian kuat tekan dengan kadar kapur 12,5% terjadi penurunan terlebih dahulu kemudian meningkat sebesar 1,26% pada kadar abu sekam padi 10% dan menurun kembali. Hal ini menunjukkan bahwa pada abu sekam padi 10% dan kapur 12,5% terjadi reaksi antar keduanya, sehingga terjadi peningkatan. Berdasarkan penelitian Trimurtiningrum (2021) penggunaan abu sekam padi hingga terjadi peningkatan disebabkan karena adanya silika pada abu sekam padi bereaksi dengan batu kapur dan air hingga membentuk gel *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) yang memiliki kemampuan merekatkan antar butiran. Pada kadar abu sekam padi 7,5% nilainya tidak mengalami kenaikan karena abu sekam padi hanya sedikit bereaksi dengan kapur, kemudian kadar abu sekam padi lebih dari 10% terjadi penurunan kuat tekan beton sebab abu sekam padi berlebihan sehingga tidak bisa bereaksi dengan kapur dan hanya berperan sebagai *filler* saja. Pengujian kuat tekan pada penelitian ini menunjukkan kesamaan seperti penelitian yang dilakukan oleh Gautam, Batra dan Singh (2019).



Gambar 5. 8 Grafik Kuat Tekan dengan Persentase Berbeda dari RHA
(Sumber: Gautam, Batra dan Singh, 2019)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Gautam, Batra dan Sight (2019) pada Gambar 5.8 terjadi peningkatan kuat tekan hingga mencapai titik tertinggi pada kadar 7,5% kemudian dengan seiring bertambahnya jumlah abu sekam padi yang digunakan maka kuat tekan yang dihasilkan akan menurun. Hasil penelitian yang dilakukan Gautam *et.al.* mempunyai kesamaan dengan penelitian ini yaitu penggunaan abu sekam padi hingga kuat tekan beton mencapai titik optimum pada kadar RHA 7,5% kemudian mengalami penurunan.

5.3.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Penelitian ini dilakukan pengujian *tensile splitting test* untuk mengetahui nilai kuat tarik belah beton pada benda uji silinder. Pengujian ini dilakukan pada 10 variasi dengan jumlah benda uji sebanyak 30 sampel. Perhitungan kuat tarik belah beton dapat dihitung menggunakan persamaan 3.14, berikut perhitungan kuat tarik belah beton pada variasi A-7,5 (4).

Diketahui:

$$P = 135000 \text{ N}$$

$$L = 302 \text{ mm}$$

$$D = 151,28 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_{ct} &= \frac{2 \times P}{L \times D} \\ &= \frac{2 \times 135000}{302 \times 151,28} \\ &= 1,88 \text{ MPa} \end{aligned}$$

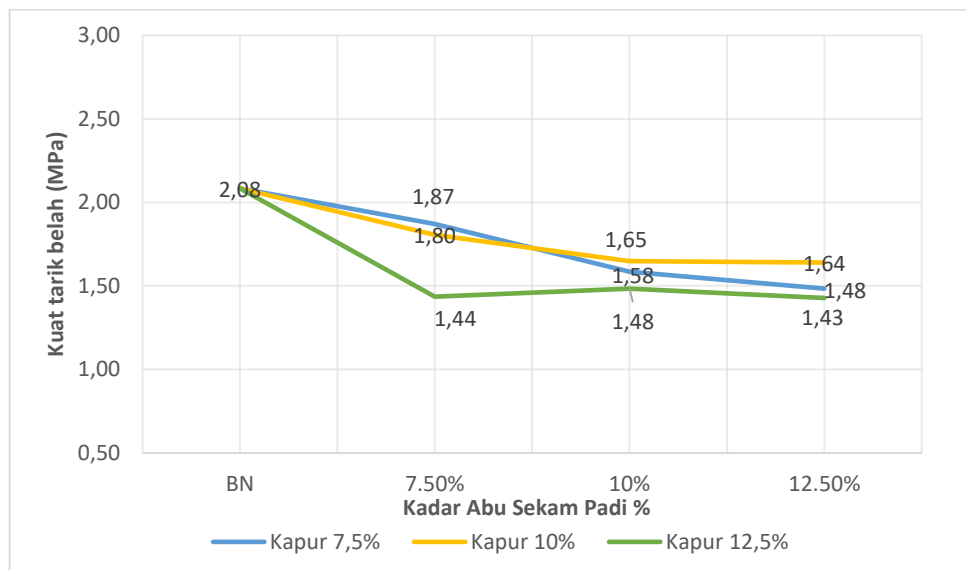
Adapun hasil rekapitulasi dari pengujian kuat tarik ini dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

No.	Kode	Kadar Kapur (%)	Kadar ASP (%)	Beban (N)	Diameter (mm)	Panjang (mm)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-Rata Kuat Tarik (MPa)
1	BN 0 (4)	0	0	153000	150.53	299.96	2.16	2.08
2	BN 0 (5)			144000	149.67	303.2	2.02	
3	BN 0 (6)			148000	149.68	303.5	2.07	
4	A-7,5 (4)	7.5	7.5	135000	151.28	302.00	1.88	

Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

No.	Kode	Kadar Kapur (%)	Kadar ASP (%)	Beban (N)	Diameter (mm)	Panjang (mm)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-Rata Kuat Tarik (MPa)
5	A-7,5 (5)	7,5	7,5	107000	150.65	304.60	1.48	1.87
6	A-7,5 (6)			162000	151.03	304.20	2.24	
7	A-10 (4)		10	124000	150.90	306.20	1.71	1.58
8	A-10 (5)			125000	150.67	302.60	1.75	
9	A-10 (6)			102000	151.31	301.40	1.42	
10	A-12,5 (4)		12.5	107000	150.08	299.75	1.51	1.48
11	A-12,5 (5)			98000	149.95	300.70	1.38	
12	A-12,5 (6)			110000	150.04	300.46	1.55	
13	B-7,5 (4)	10	7.5	143000	150.98	301.88	2.00	1.80
14	B-7,5 (5)			121000	150.15	306.10	1.68	
15	B-7,5 (6)			125000	151.16	302.40	1.74	
16	B-10 (4)		10	132000	149.35	306.00	1.84	1.65
17	B-10 (5)			102000	150.10	301.60	1.43	
18	B-10 (6)			120000	150.23	304.00	1.67	
19	B-12,5 (4)		12.5	114000	150.82	302.45	1.59	1.64
20	B-12,5 (5)			130000	150.17	305.50	1.80	
21	B-12,5 (6)			109000	150.00	303.40	1.52	
22	C-7,5 (4)	12.5	7.5	99000	149.50	302.026	1.40	1.44
23	C-7,5 (5)			101000	151.71	300.63	1.41	
24	C-7,5 (6)			107000	149.80	302.716	1.50	
25	C-10 (4)		10	107000	150.56	279.925	1.62	1.48
26	C-10 (5)			96000	150.00	300.65	1.36	
27	C-10 (6)			105000	150.93	299.716	1.48	
28	C-12,5 (4)		12.5	105000	150.47	303.77	1.46	1.43
29	C-12,5 (5)			110000	149.02	301.57	1.56	
30	C-12,5 (6)			90000	149.45	303.67	1.26	



Gambar 5. 9 Grafik Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan gambar 5.9 dapat diketahui bahwa pengujian kuat tarik pada beton normal di peroleh sebesar 2,08 MPa. Dari hasil pengujian di atas penggunaan kadar abu sekam padi dan kapur didapatkan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 1,87 MPa yaitu kadar abu sekam padi dan kapur masing-masing 7,5%, sedangkan nilai kuat tarik terendah sebesar 1,43 MPa yaitu dengan kadar abu sekam padi 12,5% dan kapur 12,5%. Grafik di atas secara keseluruhan nilai kuat tarik dengan berbagai variasi mengalami penurunan dari kuat tarik beton normal. Pada pengujian kuat tarik ini mempunyai hubungan dengan nilai kuat tekan beton yaitu variasi kapur 7,5% dan 10% mengalami penurunan seluruhnya dan pada variasi kapur 12,5% kuat tarik mengalami penurunan kemudian meningkat pada variasi abu sekam padi 10%, lalu menurun kembali.

5.3.4 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas pada penelitian ini dilakukan bersama dengan uji kuat tekan. Pengujian ini dilakukan pada benda uji silinder yang berumur 28 hari sebanyak 30 sampel. Pengujian ini menggunakan mesin CTM (*Compressing Testing Machine*) untuk mengetahui beban maksimum yang diterima dan Compressometer- Extensometer serta pengukur deformasi (*dial gauge*) untuk mengetahui penurunan beban sehingga diketahui nilai tegangan dan regangan. Berdasarkan ASTM C469 setelah diketahui nilai tegangan dan regangan yang

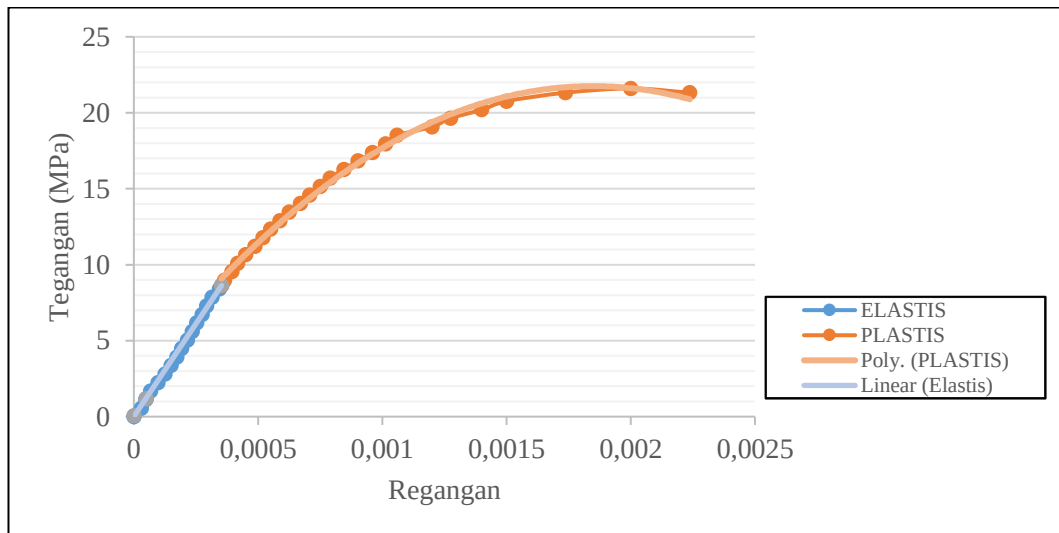
terjadi pada proses pengujian modulus elastisitas. Hasil tegangan dan regangan pada variasi A-7,5 (1) dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5. 19 Hasil Tegangan dan Regangan pada Variasi A-7,5 (1)

No.	Beban (KN)	Pembacaan Dial	ΔL x 0,001 (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	τ (N/mm ²)	ε
1	0	0	0	17820,21065	200	0	0
2	10	12	0,006	17820,21065	200	0,5611606	0,00003
3	20	19	0,0095	17820,21065	200	1,1223212	0,0000475
4	21	20	0,01	17820,21065	200	1,1784372	0,00005
5	30	27	0,0135	17820,21065	200	1,6834818	0,0000675
6	40	39	0,0195	17820,21065	200	2,2446424	0,0000975
7	50	50	0,025	17820,21065	200	2,805803	0,000125
8	60	60	0,03	17820,21065	200	3,3669636	0,00015
9	70	69	0,0345	17820,21065	200	3,9281242	0,0001725
10	80	77	0,0385	17820,21065	200	4,4892848	0,0001925
11	90	86	0,043	17820,21065	200	5,0504453	0,000215
12	100	94	0,047	17820,21065	200	5,6116059	0,000235
13	110	101	0,0505	17820,21065	200	6,1727665	0,0002525
14	120	110	0,055	17820,21065	200	6,7339271	0,000275
15	130	117	0,0585	17820,21065	200	7,2950877	0,0002925
16	140	126	0,063	17820,21065	200	7,8562483	0,000315
17	150	138	0,069	17820,21065	200	8,4174089	0,000345
18	155	141	0,0705	17820,21065	200	8,642	0,000353
19	160	146	0,073	17820,21065	200	8,9785695	0,000365
20	170	158	0,079	17820,21065	200	9,5397301	0,000395
21	180	167	0,0835	17820,21065	200	10,100891	0,0004175
22	190	180	0,09	17820,21065	200	10,662051	0,00045
23	200	195	0,0975	17820,21065	200	11,223212	0,0004875
24	210	208	0,104	17820,21065	200	11,784372	0,00052
25	220	220	0,11	17820,21065	200	12,345533	0,00055
26	230	235	0,1175	17820,21065	200	12,906694	0,0005875
27	240	250	0,125	17820,21065	200	13,467854	0,000625
28	250	268	0,134	17820,21065	200	14,029015	0,00067
29	260	283	0,1415	17820,21065	200	14,590175	0,0007075
30	270	300	0,15	17820,21065	200	15,151336	0,00075
31	280	316	0,158	17820,21065	200	15,712497	0,00079
32	290	338	0,169	17820,21065	200	16,273657	0,000845
33	300	361	0,1805	17820,21065	200	16,834818	0,0009025
34	310	384	0,192	17820,21065	200	17,395978	0,00096
35	320	405	0,2025	17820,21065	200	17,957139	0,0010125
36	330	424	0,212	17820,21065	200	18,5183	0,00106
37	340	480	0,24	17820,21065	200	19,07946	0,0012
38	350	510	0,255	17820,21065	200	19,640621	0,001275
39	360	560	0,28	17820,21065	200	20,201781	0,0014
40	370	600	0,3	17820,21065	200	20,762942	0,0015
41	380	695	0,3475	17820,21065	200	21,324103	0,0017375
42	385	800	0,4	17820,21065	200	21,604683	0,002
43	380	895	0,4475	17820,21065	200	21,324103	0,0022375

Setelah diketahui nilai tegangan dan regangan, kemudian dapat dicari nilai modulus elastisitas beton dengan menggunakan program Microsoft Excel. Melalui

program tersebut maka dibuat grafik yang terdiri dari daerah elastis dan plastis. Berikut hasil grafik tegangan dan regangan pada variasi 7,5/7,5 (1) yang dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 Grafik Tegangan dan Regangan pada Variasi A-7,5 (1)

Berdasarkan Gambar 5.10 didapatkan nilai untuk menghitung nilai modulus elastisitas beton dengan menggunakan persamaan 3.15, berikut perhitungan modulus elastisitas beton pada variasi A-7,5 (1).

Diketahui:

$$\sigma_1 = 1,178 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 8,642 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_1 = 0,00005$$

$$\epsilon_2 = 0,000353$$

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \\ &= \frac{8,642 - 1,178}{0,000353 - 0,00005} \\ &= 24631,80 \text{ MPa} \end{aligned}$$

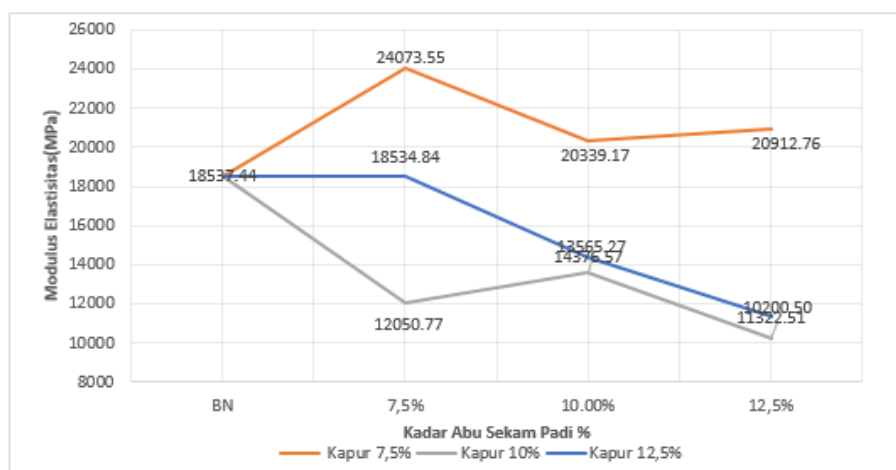
Adapun hasil rekapitulasi dari pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan Kadar Kapur A%

N o.	Kode	Kadar Kapur (%)	Kadar ASP (%)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	ϵ_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-Rata Modulus Elastisitas (MPa)
1	BN 0 (1)	0	0	1.18	10.04	0.00005	0.000505	19466.37	18537.44
2	BN 0 (2)			1.18	10.49	0.00005	0.000724	13811.40*	
3	BN 0 (3)			1.24	10.13	0.00005	0.000555	17608.50	
4	A-7,5 (1)	7,5	7,5	1.18	8.64	0.00005	0.000353	24631.80	24073.55
5	A-7,5 (2)			1.68	9.09	0.00005	0.000365	23515.30	
6	A-7,5 (3)			1.75	9.49	0.00005	0.000358	25126.14	
7	A-10 (1)		10	1.19	7.03	0.00005	0.000336	20426.02	20339.17
8	A-10 (2)			1.12	7.87	0.00005	0.000393	19695.08	
9	A-10 (3)			1.51	6.31	0.00005	0.00028	20896.42	
10	A-12,5 (1)		12,5	0.56	7.38	0.00005	0.000557	13458.60*	20912.76
11	A-12,5 (2)			2.77	6.87	0.00005	0.00024	21576.94	
12	A-12,5 (3)			1.64	7.33	0.00005	0.000331	20248.57	

* data tidak digunakan karena nilai ekstrim

Hasil perhitungan modulus elastisitas dengan kadar kapur yang lain dapat dilihat pada lampiran, setelah dilakukan perhitungan kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik rekapitulasi dari pengujian modulus elastisitas yang dapat dilihat pada Gambar 5.11.

**Gambar 5. 11 Hasil Rekapitulasi Modulus Elastisitas Beton ASTM C-469**

Berdasarkan Gambar 5.10 di atas dengan menggunakan persamaan dari ASTM C-469 diperoleh nilai modulus elastisitas tertinggi sebesar 24073,55 MPa pada kadar abu sekam padi dan kapur masing-masing 7,5%. Hasil tersebut lebih

tinggi dari pada nilai modulus elastisitas beton normal yaitu sebesar 18537,44 MPa. Nilai modulus elastisitas beton terendah diperoleh 10200,50 MPa pada kadar abu sekam padi 12,5% dan kadar kapur 10%. Perhitungan modulus elastisitas beton selain menggunakan persamaan dari ASTM C469 terdapat perhitungan secara empiris dengan menggunakan persamaan 3.16 dan 3.17 dari SNI 2847-2013. Berikut contoh perhitungan modulus elastisitas beton sesuai SNI 2847-2013 pada variasi A-7,5.

Diketahui:

$$f'c = 22,12 \text{ MPa}$$

$$Wc = 2334,752 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} Ec1 &= 4700\sqrt{f'c} \\ &= 4700\sqrt{22,12} \\ &= 22107,36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ec &= Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \\ &= 2334,752^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{22,12} \\ &= 22817,53 \text{ MPa} \end{aligned}$$

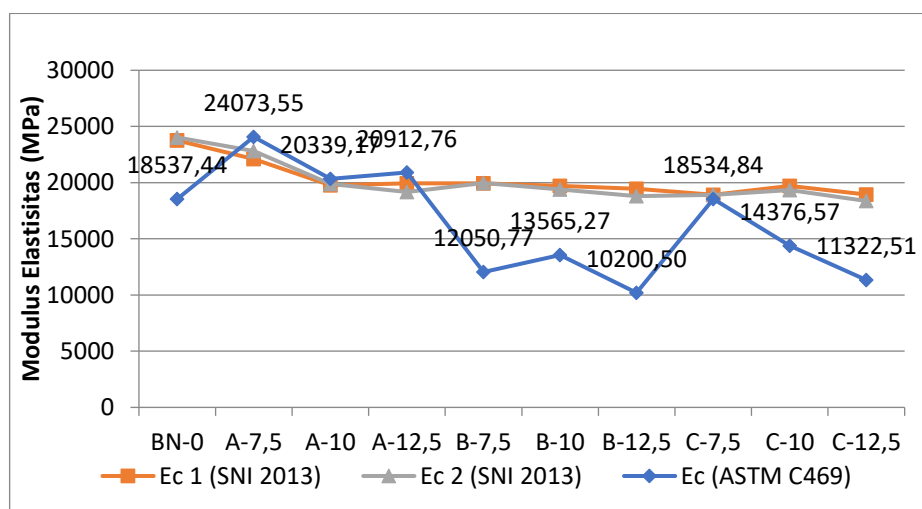
Adapun hasil rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas sesuai dengan SNI 2847-2013 dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5. 21 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Modulus Elastisitas Beton (SNI 2847-2013)

Kode Benda Uji	Kadar Kapur (%)	Kadar ASP (%)	Wc Rata-Rata (kg/m ³)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Ec1 = $4700\sqrt{f'c}$ (MPa)	Ec2 = $Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$ (MPa)
BN-0	0	0	2303.24	25.55	23757.32	24025.74
A-7,5	7,5	7,5	2334.752	22.12	22107.36	22817.53
A-10		10	2296.22	17.68	19762.29	19894.28
A-12,5		12,5	2228.397	17.98	19931.55	19182.29
B-7,5	10	7,5	2288.122	18.02	19949.97	19977.06
B-10		10	2262.341	17.59	19709.41	19403.55
B-12,5		12,5	2276.33	17.14	19456.99	18800.29
C-7,5	12,5	7,5	2285.951	16.21	18920.87	18919.6
C-10		10	2255.288	17.61	19724.59	19327.76
C-12,5		12,5	2240.322	16.23	18936.44	18371.08

Berdasarkan Tabel 5.20 penggunaan abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti semen didapatkan nilai modulus elastisitas beton tertinggi sesuai dengan

SNI 2847-2013 E_c 1 sebesar 22107.35992 MPa dan E_c 2 sebesar 22817.53259 MPa pada saat kadar abu sekam padi dan kapur masing-masing 7,5%, nilai tersebut berada di bawah nilai modulus elastisitas beton normal. Sedangkan untuk nilai terendah diperoleh E_c 1 sebesar 18936.44 MPa dan E_c 2 sebesar 18371.08 MPa pada saat kadar abu sekam padi dan kapur masing-masing 12,5%. Perbandingan nilai modulus elastisitas beton dengan menggunakan persamaan ASTM C469 dan SNI 2847-2013 seperti pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5. 12 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas ASTM C-469 dan SNI 2847-2013

Dari Gambar 5.11 dapat diketahui bahwa pengujian modulus elastisitas beton menggunakan metode ASTM C469 sebagian besar hasilnya lebih kecil dari pada menggunakan metode SNI 2847-2013. Hal tersebut dikarenakan metode ASTM C469 diperoleh dari kondisi nyata yang terjadi selama pengujian berlangsung, sedangkan untuk metode SNI 2847-2013 menggunakan rumus secara empiris atau teori dengan mengacu pada nilai kuat tekan beton dan berat isi beton.

5.4 Pembahasan Secara Keseluruhan

Penelitian ini menggunakan limbah dari abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen, artinya jumlah semen yang digunakan sama dengan jumlah abu sekam padi dan kapur yang digunakan. Penggunaan abu sekam padi dan kapur berpengaruh terhadap nilai slump, kuat tekan, kuat tarik dan modulus

elastisitas beton. Tabel 5.22 merupakan hasil rekapitulasi dari perhitungan dari pengujian yang telah dilaksanakan.

Tabel 5. 22 Hasil Rekapitulasi Pengujian Benda Uji

Nama Benda Uji	Nilai Slump (mm)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
BN-0	130	25.55	2.08	23757.322
A-7,5	110	22.12	1.87	22107.36
A-10	120	17.68	1.58	19762.293
A-12,5	70	17.98	1.48	19931.546
B-7,5	110	18.02	1.8	19949.97
B-10	105	17.59	1.65	19709.41
B-12,5	80	17.14	1.64	19456.99
C-7,5	80	17.37	1.44	18920.87
C-10	70	17.61	1.48	19724.59
C-12,5	65	16.23	1.43	18936.44

Dari Tabel 5.21 diperoleh rekapitulasi hasil pengujian benda uji, untuk menggabungkan dalam grafik maka dilakukan perhitungan persentase perubahan penggunaan abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen terhadap BN 0%. Contoh perhitungan persentase perubahan pada nilai slump seperti berikut.

$$\frac{110 - 130}{130} \times 100 = -15,38\%$$

Berdasarkan persamaan tersebut, kemudian dilakukan perhitungan persentase perubahan pada masing-masing pengujian. Berikut merupakan hasil rekapitulasi persentase perubahan pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.23.

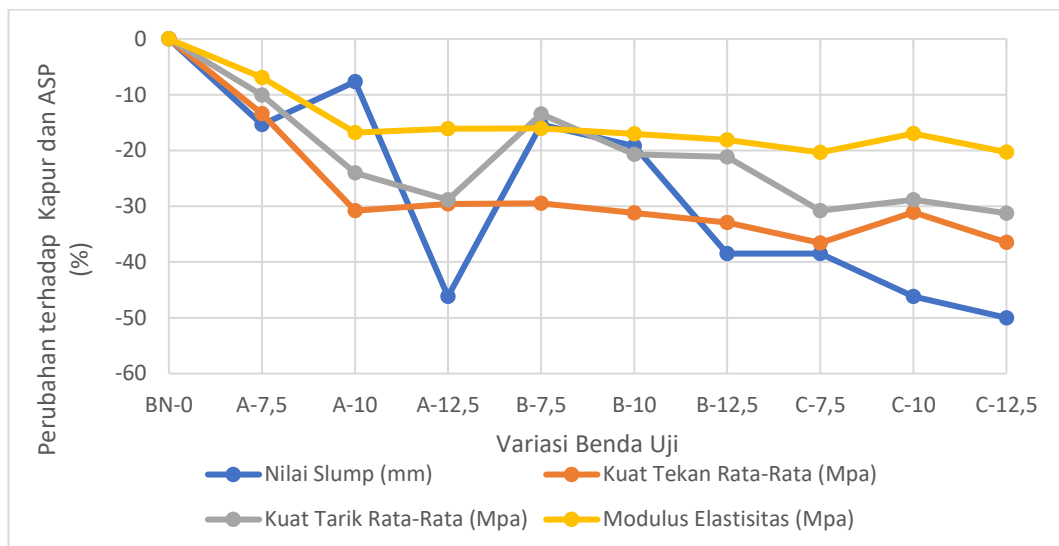
Tabel 5. 23 Hasil Rekapitulasi Persentase Perubahan Pengujian

Nama Benda Uji	Nilai Slump (mm)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
BN-0	0	0	0	0
A-7,5	-15.3846	-13.4078	-10.0962	-6.94507
A-10	-7.69231	-30.8042	-24.0385	-16.816
A-12,5	-46.1538	-29.6139	-28.8462	-16.1036
B-7,5	-15.3846	-29.4837	-13.4615	-16.026

Lanjutan Tabel 5.23 Hasil Rekapitulasi Persentase Perubahan Pengujian

Nama Benda Uji	Nilai Slump (mm)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
B-10	-19.2308	-31.1741	-20.6731	-17.0386
B-12,5	-38.4615	-32.9257	-21.1538	-18.1011
C-7,5	-38.4615	-36.5711	-30.7692	-20.3577
C-10	-46.1538	-31.068	-28.8462	-16.9747
C-12,5	-50	-36.4666	-31.25	-20.2922

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh grafik persentase perubahan nilai dari semua pengujian yang telah dilaksanakan terhadap kadar BN 0% seperti pada Gambar 5.13 berikut.



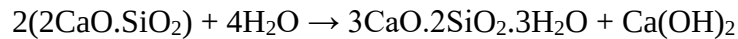
Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Hasil Seluruh Pengujian Terhadap BN-0

Berdasarkan Gambar 5.12 dapat dilihat terjadi perubahan nilai pengujian terhadap BN, hal ini bertujuan untuk mempermudah mengamati hubungan yang terjadi akibat penggantian sebagian semen menggunakan abu sekam padi dan kapur pada campuran beton. Hubungan antara nilai slump dengan kuat tekan beton yaitu berbanding lurus. Semakin banyak jumlah penggantian semen menggunakan abu sekam padi dan kapur maka semakin kecil nilai slump yang diperoleh sehingga menyebabkan nilai kuat tekan beton menurun. Kedua bahan tersebut mempunyai sifat hidroskopis (menyerap air) yang disebabkan reaksi antara Ca(OH)_2 dengan silika, alumina dan besi oksida. Menurut Lubis (2004) penambahan kadar abu

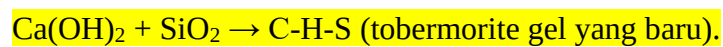
sekam padi pada campuran beton menghasilkan nilai slump kecil sehingga pasta semen akan semakin tebal menyelimuti butir agregat dan menyebabkan gesekan antar butiran semakin kecil sehingga butiran mudah tergelincir dan mengurangi lekatan. Hal ini juga didukung dengan penelitian yang dilakukan Mulyono,T (2007) yang menyebutkan bahwa semakin banyak kadar kapur yang digunakan sehingga menambah faktor air semen dan mengurangi tingkat *workability*. Selain itu terdapat hubungan kuat tarik belah beton dengan kuat tekan beton yaitu berbanding lurus. Semakin kecil nilai kuat tarik belah beton maka kuat tekan beton semakin kecil juga. Kemudian terdapat hubungan modulus elastisitas beton dengan kuat tekan yaitu berbanding lurus, seiring dengan bertambahnya jumlah abu sekam padi dan kapur yang digunakan maka akan menghasilkan kuat tekan rendah sehingga pada pengujian modulus elastisitas menghasilkan regangan longitudinal yang besar dan menghasilkan nilai modulus elastisitas rendah. Beton dengan nilai modulus elastisitas rendah menunjukkan bahwa beton bersifat getas, sedangkan beton yang mempunyai nilai modulus elastisitas tinggi menunjukkan bahwa beton bersifat lebih liat (*ducktail*).

Penambahan abu sekam padi dan kapur pada campuran menyebabkan nilai kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton menjadi menurun. Pada penelitian ini penggunaan abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen mencapai titik tertinggi pada kadar 7,5% abu sekam padi dan 7,5% kapur. Pada kuat tekan beton dan kuat tarik terjadi peningkatan pada kadar kapur 12,5% dan abu sekam padi 10%, peningkatan tersebut disebabkan penggunaan abu sekam padi yang mengandung silika (SiO_2) yang bereaksi mengikat kapur bebas selama proses hidrasi. Selama proses hidrasi yang terjadi yaitu semen yang bereaksi dengan air dan menghasilkan trikalsium hidrat gel atau tobermorit ($\text{C}_3\text{-S}_2\text{-H}_3$) (Luis,2004). Adanya gel serta butiran abu sekam padi dan kapur yang kecil membuat beton lebih padat karena akan mengisi pori-pori yang kosong dan menambah rekatan antara butiran agregat. Hal ini sejalan dengan Burhanuddin *et.al.* (2001) menyatakan bahwa reaksi pengikatan kapur bebas pada semen dengan abu sekam padi sangat kompleks yaitu sebagai berikut.

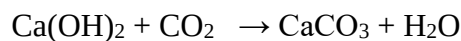




Dari reaksi hidrasi semen tersebut diperoleh sisa berupa $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dimana timbul di daerah transisi (*transition zone*) yaitu daerah berisi air yang terperangkap dalam partikel-partikel semen kemudian menguap menuju daerah porous. Di daerah transisi sering terjadi *bleeding* pada beton normal sehingga menurunkan kuat tekannya. Adanya abu sekam padi pada campuran beton akan digunakan sebagai filler di *transition zone* sehingga beton yang dihasilkan lebih padat, untuk persamaan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut.



Dari persamaan reaksi tersebut kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) bereaksi dengan silika dari abu sekam padi dan menghasilkan *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) yang mempunyai kinerja perekat seperti semen sehingga dapat mengurangi porositas dan meningkatkan daya lekat yang mampu menambah kekuatan tekan beton. Namun, penggunaan abu sekam padi dan kapur yang berlebih akan menyebabkan penurunan kekuatan beton.



Pada persamaan tersebut jumlah kapur yang berlebih akan bereaksi dengan CO_2 dan membentuk CaCO_3 . Senyawa CaCO_3 menyebabkan jarak antar butiran agregat renggang, kemudian tegangan yang dihasilkan di dukung oleh kapur yang jelas kekuatannya di bawah kemampuan butiran agregat. Menurut Lubis, (2004) penurunan kuat tekan dan kuat tarik pada beton juga bisa disebabkan karena jumlah abu sekam padi yang berlebihan sehingga mengurangi friksi antar agregat.

Pengujian kuat tekan beton normal pada penelitian ini diperoleh 25,55 MPa sedangkan beton dengan variasi yang menghasilkan kuat tekan beton tertinggi terjadi pada abu sekam padi 7,5% dan kapur 7,5% sebesar 22,12 MPa, hal tersebut menunjukkan penurunan kuat tekan beton sebesar 13,42% dari beton normal. Oleh sebab itu penggunaan abu sekam padi dan kapur pada penelitian ini ternyata tidak dapat meningkatkan kuat tekan beton sehingga tidak bisa menggantikan sebagian semen terhadap karakteristik beton. Terdapat faktor yang menyebabkan abu sekam padi dan kapur cenderung menurunkan kuat tekan beton yaitu penggunaan abu sekam padi dan kapur dengan ukuran lebih besar dari pada ukuran semen. Lubis

(2004) mengatakan penggunaan abu sekam padi lolos saringan No. 200 dapat mengisi ruang kosong sehingga dapat meningkatkan daya lekat. Pada penelitian ini menggunakan abu sekam padi dan kapur lolos saringan No.100. Kemudian karena abu sekam padi dan kapur memiliki sifat pozzolan yang digunakan untuk pengganti sebagian semen menurut Bale (2020) dapat menaikkan ketahanan terhadap garam, sulfat dan asam namun untuk peningkatan kekuatan beton pada umur 28 hari akan lebih rendah dari pada beton normal dan kuat tekan beton dapat meningkat lebih tinggi pada umur 90 hari.

Menurut segi teknik sipil dengan adanya penelitian menggunakan limbah abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen ini tidak dapat memberikan keuntungan lebih sebagai material struktural karena menghasilkan kuat tekan di bawah beton normal, akan tetapi dari segi global dapat memberikan keuntungan yaitu dengan mengurangi penggunaan semen dapat mengurangi emisi gas CO₂ serta dapat mengurangi degradasi pada lingkungan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut.

1. Pengaruh limbah abu sekam padi dan kapur sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton berpengaruh menurunkan nilai kuat tekan beton kuat tarik belah beton dan modulus elastisitas beton. Hasil pengujian semua variasi abu sekam padi dan kapur tidak dapat menaikkan nilai kuat tekan dan kuat tarik lebih dari beton normal sehingga penggunaan abu sekam padi dan kapur tidak bisa menggantikan sebagian semen.
2. Hasil penelitian diperoleh bahwa penggunaan abu sekam padi dan kapur sebagai pengganti sebagian semen dengan kadar 7,5% abu sekam padi dan 7,5% kapur menghasilkan karakteristik beton tertinggi. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh sebesar 22,12 MPa, nilai kuat tarik belah beton tertinggi diperoleh sebesar 1,87 MPa dan nilai modulus elastisitas diperoleh sebesar 24073.55 MPa. Dimana nilai kuat tekan tersebut masih berada di bawah beton normal sebesar 13,42%.

6.2 Saran

Berdasarkan analisis, pembahasan serta kesimpulan dari hasil penelitian, terdapat beberapa saran agar dalam penelitian selanjutnya mendapatkan hasil yang lebih baik. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Penggunaan abu sekam padi dan kapur sebaiknya menggunakan lolos saringan no.200 agar cepat dalam bereaksi membentuk ikatan semen.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kualitas dan kandungan kimia abu sekam padi dan kapur untuk memperoleh hasil yang terbaik.
3. Diusahakan dalam pemadatan dilakukan menggunakan alat penggetar karena dapat mempengaruhi kualitas dan kekuatan beton.

4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan melakukan variasi umur beton dengan umur lebih dari 28 hari.
5. Dilakukan pembuatan material non struktural seperti *paving block* atau batako dengan mengganti sebagian semen dengan abu sekam padi dan kapur.

DAFTAR PUSTAKA

- Amato I. Green cement: Concrete solutions. *Nature*. 2013 Feb 21;494(7437):300-1. doi: 10.1038/494300a. PMID: 23426307.
- Anonim. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI-1971)*. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Bandung.
- Anonim. 2018. *Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tatacara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. BSN: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Slump Beton*. SNI 03-1972-1990. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. SNI 03-2491-2002. BSN. Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Spesifikasi Bahan Bangunan-Bagian A: Bahan Bangunan Bukan Logam*. SNI 03-6861.1-2002. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Semen Portland*. SNI 15-2049-2004. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1974-2011. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2013. BSN. Jakarta.
- Bale, H.A. 2020. *Buku Ajar Teknologi Bahan Konstruksi*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Burhanuddin and Muchammad. 2001. *Penelitian Laboratorium Pengaruh Substitusi Sebagian Semen dengan Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) dan Kapur Padam terhadap Kuat Desak Beton*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia.

- Darren, J., Gunaran, D., Hendry, dan Budirahardjo, E. 2016. Pengaruh Penambahan Gabungan Batu Kapur dan Kpaur Padam pada Campuran Beton K-300. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*. Vol 05. No 18. Hal 147-148.
- Elakneswaran, Y., Noguchi, N., Matumoto, K., Morinaga, Y., Chabayashi, T., Kato, H., and Nawa, T. 2019. *Characteristics of Ferrite-Rich Portland Cement: Comparison With Ordinary Portland Cement*. Original Research. Vol 6. pp 24.
- Gautam, A., Batra, R., & Singh, N. 2019. *A Study on Use of Rice Husk Ash in Concrete*. *Engineering Heritage Journal (GWK)*, 01-04.
- Ghosal, S & Moulik, S. 2015. Use of Rice Husk Ash as Partial Replacement with Cement In Concrete- A Review. *International Journal of Engineering Research*. Vol No.4. Issue No.9 pp:506-509
- Guereca L.P., N. Torres, C.R.J. Lopez, 2015. The Co- Processing of Municipal Waste in a Cement Kiln in Mexico, A Life-cycle Assesment Approach. *Journal of Cleaner Production*. 107, pp. 1-8.
- Gunduz, L and Kalkan, S. Onur. 2019. Use of Rice Husk Ash as Strength-Enhancing Additive in Lightweight Cementitious Composite Mortars. *IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering* 471 032046. pp 53.
- Hasanbeigi A., H. Lu, C. Williams, L. Price, 2012. International Best Practice for Pre-Processing and Orlando Co-Processing Municipal Solid Waste and Sewage Sludge in Cement Industry. Ernest Lawrence Berkeley National Laboratory, California.
- Imbabi, M. S., Carrigan, C., and McKenna, S. 2012. Trends And Development Ingreen Cement And Concrete Technology. *Int. J. Sustain. Built Environ.* 1, 194–216.
- Khan, R., Jabbar, A. et al.. “Reduction In Environmental Problems Using Rice-Husk Ash In Concrete”. *Construction and Building Materials*. 30. 2012. pp 360-365.
- Kristanto, F. Adi and Suharityanto, A. 2002. Proyek Akhir Pengaruh Batu Kapur Terhadap Kuat Tekan Beton. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Jember.
- Lestari, F., 2010. Efektivitas Pengelolaan Kualitas Lingkungan Fisik Pada Industri Semen Pasca Implementasi AMDAL dan ISO 14001. *AGRIPLUS*. 20, pp. 126-132.

- Lubis, Loly Siti Khadijah .2004. Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Material Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik. Tesis. Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Melinda, Sintia, Servie O. Dapas, and Marthin DJ Sumajouw. "Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan Kapur Dan Batu Apung Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen." *Jurnal Sipil Statik* 8.5 (2020).
- Mulyono, Tri. 2003. Teknologi Beton. Jakarta.Andi.
- Mulyono, Tri. 2004. Pengujian Beton Keras dan Evaluasi Beton seri 4 Uji laboratorium Bahan Beton dan Beton. Jakarta :Program Studi D3 Teknik Sipil FT UNJ.
- Munaf, Dicky R. 2012. Pendayagunaan Abu Terbang Pada Beton Kinerja Tinggi Untuk Rumah Murah Pracetak. *Jurnal Siosioteknologi*. Edisi 25 Tahun 11.
- Prasetya, Daffa A. 2018. Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Dan Viscocrete 1003 Terhadap Karakteristik Beton Normal. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia.
- Reza, B., A. Soltani, R. Ruparathna, R. Sadiq, K. Hewage, 2013. Environmental and economic aspects of production and utilization of RDF as alternatif fuel in cement plants: A case study of Metro Vancouver Waste Management. *Resource, Conservation, and Recycling*. 81, pp. 105-114.
- Rofiqi, M. Ainur. 2015. Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Material Semen dan Limbah Serbuk Marmer sebagai Pengisi Pada Campuran Beton. *Tugas Akhir*. Universitas Jember.
- Salain, I Made A. Karyawan. 2009. Pengaruh Jenis Semen dan Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknologi dan Kejuruan*. Vol 32 No 1. Pp 64.
- Salwatul, N. (2017). Pengaruh Rasio Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat Pada Mortar Geopolymer Berbahan Dasar Abu terbang Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Geser Pada Aplikasi Spesi Batu Bata. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*.Vol 2, 2017.
- Sandya,Y, Prihantono, Musalamah,S. Penggunaan abu sekam padi sebagai pengganti semen pada beton geopolimer. 2019. *Education Building Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*. Vol.5 No.2 pp60.
- Setiawan, A., Risman, A. Bayu., Juliyatna, Fathurachman, R., S. Octaviani, S., dan Buwono, H. Koco. 2015. Beton Geopolimer Abu Serabut Kelapa. *Jurnal Konstruksia*. Vol 6. No.2 . pp 91.

- Setiyarto, Y. Djoko dan Pahlevi, M.H.A. 2017. Potensi Penggunaan Abu dan Kapur untuk Mengurangi Jumlah Semen dalam Campuran Beton. *Saintiks-2*. VII.37.
- Solikin, M and Susilo. 2016. Pengaruh Pemakaian Abu Sekam Padi Sebagai Cementitious Terhadap Perkembangan Kuat Tekan Beton. *The 3rd Universty Research Coloquium* 2016. pp 35-36.
- Srinivasreddy, A., McCarthy, T. J. & Lume, E. (2013). Effect of Rice Husk Ash on workability and strength of concrete. *26th Biennial Concrete Institute of Australia's National Conference* (Concrete 2013) (pp. 1-10).Australia.
- Stafford, F.N., M.D. Viquez, J. Labrincha, D. Hotza, 2015. Advances and Challenge for the Co-Processing in Lati American Cement Industry. *Procedia Material Science*. 9, pp. 571-577.
- Suhartono. 2012. Ektor Konstruksi Nasional Dan Perubahan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 1999 Tentang Jasa Konstruksi. *Jurnal Ekonomi & Kebijakan Publik*. Vol. 3 No. 1.
- Tata,A., ultan M. Amir, Sumartini. 2016. Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Bahan Baku Beton Terhadap Sifat Mekanis Beton. *Jurnal Sipil Sains*. Vol 6 No.11 Maret 2016. Pp24.
- Tjokrodimuljo, Kardiyono. 1992. Teknologi Beton. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Trimurtiningsih, Retno.2021.Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Padi Terhadap Workabilitas, Resapan dan Kekuatan Tekan Beton.Jurnal Arsitektur.Vol V No.02: 201-210.Surabaya.

LAMPIRAN



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS
(SNI 03-1970-1990)**

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	7 Oktober 2021

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	481	485	483
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	954,3	952	953,15
Berat piknometer berisi air, gram (B)	648,25	646	647,13
Berat jenis curah, $Bk / (B + 500 - Bt)$ (1)	2,48	2,50	2,49
Berat jenis jenuh kering muka, $500 / (B + 500 - Bt)$ (2)	2,58	2,58	2,58
Berat jenis semu, $Bk / (B + Bk - Bt)$ (3)	2,75	2,71	2,73
Penyerapan air, $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$, % (4)	3,95%	3,09%	3,52%

Diperiksa Oleh:
Laboran

Darusalam
.....

Yogyakarta, 11 November 2021
Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Pengirim	Ahya Safira			
NIM	17511196			
Asal Agregat	Merapi			
Tanggal Pengujian	8 Oktober 2021			
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,0				
20,0				
10,0		0,00%	0,00%	100,00%
4,8	10	0,50%	0,50%	99,50%
2,4	254	12,75%	13,25%	86,75%
1,2	241	12,10%	25,35%	74,65%
0,6	521	26,15%	51,51%	48,49%
0,3	502	25,20%	76,71%	23,29%
0,15	281	14,11%	90,81%	9,19%
Sisa	183	9,19%	100,00%	0,00%
Jumlah	1992	100,00%	258,13%	

Modulus Halus Butir (MHB) = 2,5813

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusalam
.....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

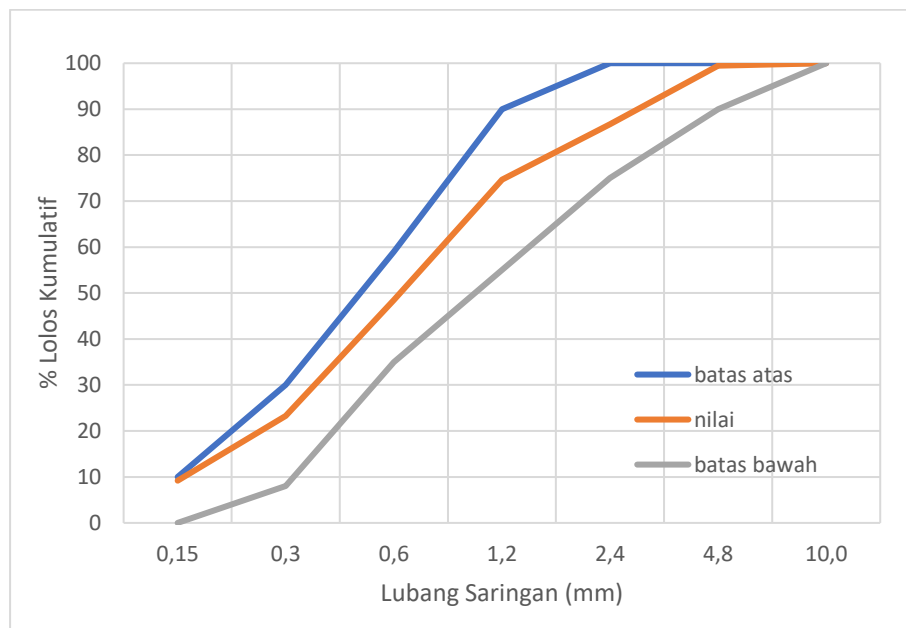
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)**

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	8 Oktober 2021

Hasil Analisa Saringan Agregat Halus

1. Agregat halus masuk daerah = II
2. Jenis pasir = Pasir Agak Kasar
3. Grafik gradasi



Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusalam
.....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)**

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	7 Oktober 2021

Uraian	Hasil		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung, gram (W1)	11200	12500	11850
Berat Tabung + Agregat kering tungku, gram (W2)	18750	20050	19400
Berat Agregat, gram (W3)	7550	7550	7550
Volume Tabung, cm ³ (V)	5382,94	5319,11	5351,02
Berat Volume Gembur, gram/cm ³ (W3/V)	1,40	1,42	1,41

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Dikerjakan Oleh:

Laboran

Darusalam
...Darusalam.....

Ahya Safira
Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	7 Oktober 2021

Uraian	Hasil		Rata - Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung, gram (W1)	11500	12500	12000
Berat Tabung + Agregat kering tungku, gram (W2)	20600	21200	20900
Berat Agregat, gram (W3)	9100	8700	8900
Volume Tabung, cm ³ (V)	5382,94	5319,11	5351,02
Berat Volume Padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,69	1,64	1,66

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusalam
.....Darusalam.....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO.200/UJI KANDUNGAN
LUMPUR DALAM PASIR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4142-1996)**

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	8 Oktober 2021

Uraian	Hasil		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Agregat Kering Oven, gram (W1)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci, gram (W2)	480,95	485,3	483,125
Berat yang Lolos Ayakan No. 200 [(w1 -w2)/w1] x 100%	3,81%	2,94%	3,38%

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusalam
.....Darusalam.....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR
(SNI 03-1969-1990)**

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	7 Oktober 2021

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4904	4851	4877,5
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3020	3090	3055
Berat Jenis Curah $B_k / (B + 500 - B_t)$ (1)	2,48	2,54	2,51
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) $500 / (B + 500 - B_t)$ (2)	2,53	2,62	2,57
Berat Jenis semu $B_k / (B + B_k - B_t)$ (3)	2,60	2,75	2,68
Penyerapan Air $(500 - B_k) / B_k \times 100\%$ (4)	1,96%	3,07%	2,51%

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusalam
.....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)**

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	8 Oktober 2021

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,0	0	0,00%	0,00%	100,00%
20,0	68	1,38%	1,38%	98,62%
10,0	3651	73,97%	75,34%	24,66%
4,8	1208	24,47%	99,82%	0,18%
2,4	0	0,00%	99,82%	0,18%
1,2	0	0,00%	99,82%	0,18%
0,6	0	0,00%	99,82%	0,18%
0,3	0	0,00%	99,82%	0,18%
0,15	0	0,00%	99,82%	0,18%
Sisa	9	0,18%	100,00%	0,00%
Jumlah	4936	100,00%	675,63%	

Modulus Halus Butir (MHB) = 6,75

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusalam
.....Darusalam.....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

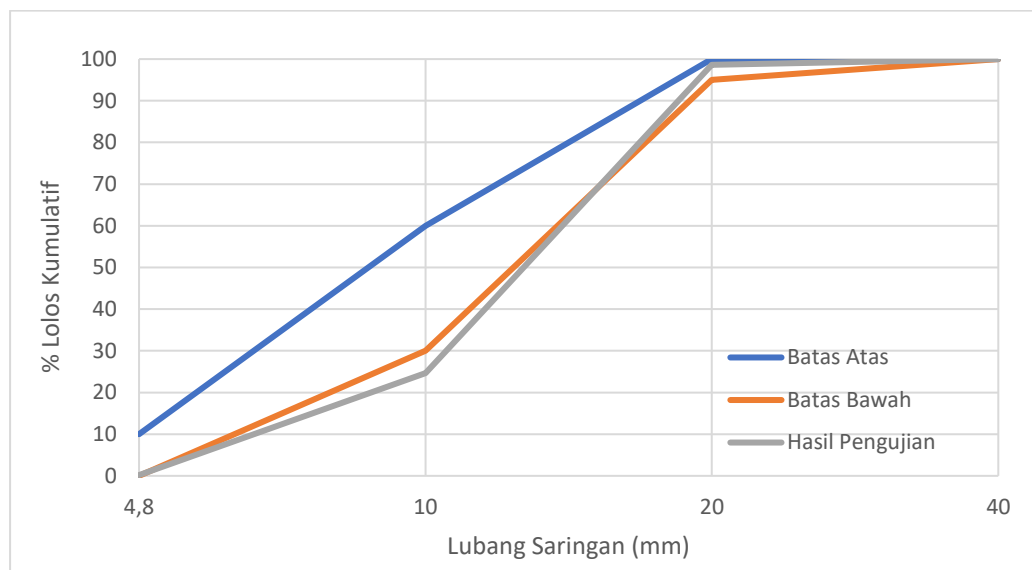
Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)**

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	8 Oktober 2021

Hasil Analisa Saringan Agregat kasar

1. Ukuran Maksimum = 20 mm
2. Grafik gradasi



Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darwis
.....
Darwisalam....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)**

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	7 Oktober 2021

Uraian	Hasil		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung, gram (W1)	12500	11200	12000
Berat Tabung + Agregat kering tungku, gram (W2)	19700	18600	19150
Berat Agregat, gram (W3)	7200	7400	7150
Volume Tabung, cm ³ (V)	5287,31	5382,94	5335,12
Berat Volume Gembur, gram/cm ³ (W3/V)	1,36	1,37	1,368

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusalam
.....Darusalam.....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)**

Pengirim	Ahya Safira
NIM	17511196
Asal Agregat	Merapi
Tanggal Pengujian	7 Oktober 2021

Uraian	Hasil		Rata - Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung, gram (W1)	12500	11200	11850
Berat Tabung + Agregat kering tungku, gram (W2)	20100	18800	19450
Berat Agregat, gram (W3)	7600	7600	7600
Volume Tabung, cm ³ (V)	5319,11	5382,94	5351,02
Berat Volume Padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,43	1,41	1,42

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusalam
.....Darusalam....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

**FORMULIR PERENCANAAN CAMPURAN BETON METODE SNI
SNI 03-2834-2000**

No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan yang Disyaratkan f'_c	25	MPa	Ditetapkan
2	Deviasi Standar (s)	7		Tabel 1
3	Nilai Tambah (M)	12	MPa	$M = 1.6 \cdot S$
4	Kuat Tekan yang Ditargetkan f'_{cr}	37	MPa	$(1) + (3)$
5	Jenis Semen	Tipe I		Ditetapkan
6	Jenis Agregat			
	Kasar	batu pecah		Ditetapkan
	Halus	alami		Ditetapkan
7	Faktor Air Semen	0,5		
8	Faktor Air Semen Maksimum	0,6		
9	Faktor Air Semen Dipakai	0,5		
10	Slump	60-180	mm	Ditetapkan
11	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	Ditetapkan
12	Kadar Air Bebas	205	kg/m ³	Tabel 5.13
13	Jumlah Semen	410	kg/m ³	$(11) : (8)$
14	Jumlah Semen Maksimum	-		
15	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m ³	Tabel 3.8
16	Jumlah Semen Dipakai	410	kg/m ³	
17	Faktor Air Semen yang Disesuaikan	0,5		
18	Susunan Butir Agregat Halus	Daerah II		Daerah gradasi
19	Berat Jenis Agregat Kasar	2,57		lab
	Berat Jenis Agregat Halus	2,58		lab
20	Persen Agregat halus	41,55		Grafik 5.4
21	Berat Jenis Relatif Agregat Gabungan SSD	2,57		
22	Berat Isi Beton	2330	kg/m ³	Grafik 5.5



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
23	Kadar Agregat Gabungan	1715	kg/m ³	(23)-(12)-(16)
24	Kadar Agregat Halus	711,73	kg/m ³	(24) × (21)
25	Kadar Agregat Kasar	1003,27	kg/m ³	(24)-(25)

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusakun
Darusakun.....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
 Ahya Safira



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

FORMULIR PERENCANAAN CAMPURAN BETON METODE SNI SNI 03-2834-2000					
No	Jumlah bahan (teoritis)	semen (kg)	Air (kg)	Agregat Kondisi SSD	
				Halus (kg)	Kasar (kg)
26	Proporsi Campuran Teoritis (Agregat Kondisi SSD):				
	Setiap m ³ :	410	205	711,73	1003,27
27	Setiap campuran uji :	13,042	6,521	22,640	31,914
28	Proporsi Campuran dengan Angka Penyusutan 15%				
	Setiap m ³ :	471,5	235,75	818,49	1153,776
29	Setiap campuran uji :	14,993	7,496	26,027	36,68

Yogyakarta, 11 November 2021

Diperiksa Oleh:

Laboran

Darusalam
.....

Dikerjakan Oleh:

Ahya Safira
Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER BETON
(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

Pengirim : Ahya Safira

Dibuat Tanggal : 14-15 Oktober 2021

Keperluan : Tugas Akhir

Diuji Tanggal : 12-13 November 2021

Lokasi : Laboratorium BKT

KADAR KAPUR 7,5 %							
No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Sekam Padi (%)	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Desak (MPa)	Kuat Desak Rata-rata
1	BN 1	0	150,23	17725,7	445000	25,10	25,55
2	BN 2		150,75	17848,6	468000	26,22	
3	BN 3		150,41	17768,2	450000	25,33	
4	B 7,5/7,5 1	7,5	150,63	17820,2	355000	19,92	22,12
5	B 7,5/7,5 2		150,63	17820,2	405000	22,73	
6	B 7,5/7,5 3		150,13	17702,1	420000	23,73	
7	B 7,5/10 1	10	149,83	17631,4	310000	17,58	17,68
8	B 7,5/10 2		150,50	17789,5	350000	19,67	
9	B 7,5/10 3		150,83	17867,6	282000	15,78	
10	B 7,5/12,5 1	12,5	150,21	17721	327000	18,45	17,98
11	B 7,5/12,5 2		151,60	18050,5	310000	17,17	
12	B 7,5/12,5 3		150,27	17735,1	325000	18,33	

Diperiksa Oleh:
 Laboran

Darusalam
Darusalam.....

Yogyakarta,
 Dikerjakan Oleh :

Ahya Safira
 Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER BETON
(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

Pengirim : Ahya Safira
 Keperluan : Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium BKT

Dibuat Tanggal : 18 Oktober 2021
 Diuji Tanggal : 17 November 2021

KADAR KAPUR 10 %							
No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Sekam Padi (%)	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Desak (MPa)	Kuat Desak Rata-rata
1	BN 1	0	150,23	17725,69	445000	25,10	25,55
2	BN 2		150,75	17848,62	468000	26,22	
3	BN 3		150,41	17768,19	450000	25,33	
4	B 10/7,5 1	7,5	151,93	18129,13	298000	16,44	18,02
5	B 10/7,5 2		150,33	17749,3	328000	18,48	
6	B 10/7,5 3		149,97	17664,39	338000	19,13	
7	B 10/10 1	10	150,58	17808,38	305000	17,13	17,59
8	B 10/10 2		149,92	17652,61	316000	17,90	
9	B 10/10 3		150,41	17768,19	315000	17,73	
10	B 10/12,5 1	12,5	150,53	17796,56	203000	11,41*	17,14
11	B 10/12,5 2		150,30	17742,22	310000	17,47	
12	B 10/12,5 3		150,02	17675,23	297000	16,80	

Diperiksa Oleh:
 Laboran

Darusalam
Darusalam.....

Yogyakarta,
 Dikerjakan Oleh :

Ahya Safira
 Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

Pengirim : Ahya Safira
 Keperluan : Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium BKT

Dibuat Tanggal : 18-19 Oktober 2021
 Diuji Tanggal : 17-18 November 2021

KADAR KAPUR 12,5 %							
No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Sekam Padi (%)	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Desak (MPa)	Kuat Desak Rata-rata
1	BN 1	0	150,23	17725,7	445000	25,10	25,55
2	BN 2		150,75	17848,6	468000	26,22	
3	BN 3		150,41	17768,2	450000	25,33	
4	B 12,5/7,5 1	7,5	150,78	17855,72	281000	15,74	17,37
5	B 12,5/7,5 2		150,18	17714,6	246000	13,89*	
6	B 12,5/7,5 3		149,85	17636,13	335000	19,00	
7	B 12,5/10 1	10	150,98	17903,12	315000	17,59	17,61
8	B 12,5/10 2		150,43	17772,92	330000	18,57	
9	B 12,5/10 3		150,08	17691,02	295000	16,68	
10	B 12,5/12,5 1	12,5	150,27	17735,13	265000	14,94	16,23
11	B 12,5/12,5 2		150,92	17888,89	269000	15,04	
12	B 12,5/12,5 3		150,27	17735,13	332000	18,72	

Diperiksa Oleh:
 Laboran

Darusalam
 Darusalam....

Yogyakarta,
 Dikerjakan Oleh :

Ahya Safira
 Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 2491:2014)

Pengirim : Ahya Safira
 Keperluan : Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium BKT

Dibuat Tanggal : 14-15 Oktober 2021
 Diuji Tanggal : 12-13 November 2021

KADAR KAPUR 7,5 %							
No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Sekam Padi (%)	Diameter (mm)	Panjang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata
1	BN 4	0	150.53	299.96	153000	2.16	2,08
2	BN 5		149.67	303.2	144000	2.02	
3	BN 6		149.68	303.5	148000	2.07	
4	B 7,5/7,5 4	7,5	151.28	302.00	135000	1.88	1,87
5	B 7,5/7,5 5		150.65	304.60	107000	1.48	
6	B 7,5/7,5 6		151.03	304.20	162000	2.24	
7	B 7,5/10 4	10	150.90	306.20	124000	1.71	1,58
8	B 7,5/10 5		150.67	302.60	125000	1.75	
9	B 7,5/10 6		151.31	301.40	102000	1.42	
10	B 7,5/12,5 4	12,5	150.08	299.75	107000	1.51	1,48
11	B 7,5/12,5 5		149.95	300.70	98000	1.38	
12	B 7,5/12,5 6		150.04	300.46	110000	1.55	

Diperiksa Oleh:
 Laboran

Darusalam

 Darusalam

Yogyakarta,
 Dikerjakan Oleh :

Ahya Safira
 Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 2491:2014)

Pengirim : Ahya Safira
 Keperluan : Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium BKT

Dibuat Tanggal : 18 Oktober 2021
 Diuji Tanggal : 17 November 2021

KADAR KAPUR 10 %							
No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Sekam Padi (%)	Diameter (mm)	Panjang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata
1	BN 4	0	150.53	299.96	153000	2.16	2,08
2	BN 5		149.67	303.2	144000	2.02	
3	BN 6		149.68	303.5	148000	2.07	
4	B 10/7,5 4	7,5	150.98	301.88	143000	2.00	1,80
5	B 10/7,5 5		150.15	306.10	121000	1.68	
6	B 10/7,5 6		151.16	302.40	125000	1.74	
7	B 10/10 4	10	149.35	306.00	132000	1.84	1,65
8	B 10/10 5		150.10	301.60	102000	1.43	
9	B 10/10 6		150.23	304.00	120000	1.67	
10	B 10/12,5 4	12,5	150.82	302.45	114000	1.59	1,64
11	B 10/12,5 5		150.17	305.50	130000	1.80	
12	B 10/12,5 6		150.00	303.40	109000	1.52	

Diperiksa Oleh:
 Laboran

Darusalam

 Darusalam

Yogyakarta,
 Dikerjakan Oleh :

Ahya Safira
 Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 2491:2014)

Pengirim : Ahya Safira
 Keperluan : Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium BKT

Dibuat Tanggal : 18-19 Oktober 2021
 Diuji Tanggal : 17-18 November 2021

KADAR KAPUR 12,5 %							
No.	Kode Benda Uji	Kadar Abu Sekam Padi (%)	Diameter (mm)	Panjang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata
1	BN 4	0	150.53	299.96	153000	2.16	2,08
2	BN 5		149.67	303.2	144000	2.02	
3	BN 6		149.68	303.5	148000	2.07	
4	B 12,5/7,5 4	7,5	149.50	302.026	99000	1.40	1.44
5	B 12,5/7,5 5		151.71	300.63	101000	1.41	
6	B 12,5/7,5 6		149.80	302.716	107000	1.50	
7	B 12,5/10 4	10	150.56	279.925	107000	1.62	1.48
8	B 12,5/10 5		150.00	300.65	96000	1.36	
9	B 12,5/10 6		150.93	299.716	105000	1.48	
10	B 12,5/12,5 4	12,5	150.47	303.77	105000	1.46	1.43
11	B 12,5/12,5 5		149.02	301.57	110000	1.56	
12	B 12,5/12,5 6		149.45	303.67	90000	1.26	

Diperiksa Oleh:
 Laboran

Darusalam
Darusalam...

Yogyakarta,
 Dikerjakan Oleh :

Ahya Safira
 Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4169-1996)

Pengirim : Ahya Safira

Keperluan : Tugas Akhir

Lokasi : Laboratorium BKT

Dibuat Tanggal : 14-15 Oktober 2021

Diuji Tanggal : 12-13 November 2021

KADAR KAPUR 7,5%								
No.	Nama sampel	Kadar ASP (%)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	ϵ_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-Rata Modulus Elastisitas (MPa)
1	BN 1	0	1.18	10.04	0.00005	0.000505	19466.37	18537.44
2	BN 2		1.18	10.49	0.00005	0.000724	13811.40*	
3	BN 3		1.24	10.13	0.00005	0.000555	17608.50	
4	B 7,5/7,5 1	7,5	1.18	8.64	0.00005	0.000353	24631.80	24073.55
5	B 7,5/7,5 2		1.68	9.09	0.00005	0.000365	23515.30	
6	B 7,5/7,5 3		1.75	9.49	0.00005	0.000358	25126.14	
7	B 7,5/10 1	10	1.19	7.03	0.00005	0.000336	20426.02	20339.17
8	B 7,5/10 2		1.12	7.87	0.00005	0.000393	19695.08	
9	B 7,5/10 3		1.51	6.31	0.00005	0.00028	20896.42	
10	B 7,5/12,5 1	12,5	0.56	7.38	0.00005	0.000557	13458.60 *	20912.76
11	B 7,5/12,5 2		2.77	6.87	0.00005	0.00024	21576.94	
12	B 7,5/12,5 3		1.64	7.33	0.00005	0.000331	20248.57	

Diperiksa Oleh:
Laboran

Darusakun
.....

Yogyakarta,
Dikerjakan Oleh :

Ahya Safira
Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4169-1996)

Pengirim : Ahya Safira

Keperluan : Tugas Akhir

Lokasi : Laboratorium BKT

Dibuat Tanggal : 18 Oktober 2021

Diuji Tanggal : 17 November 2021

KADAR KAPUR 10%								
No.	Nama sampel	Kadar ASP (%)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	ϵ_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-Rata Modulus Elastisitas (MPa)
1	BN 1	0	1.18	10.04	0.00005	0.000505	19466.37	18537.44
2	BN 2		1.18	10.49	0.00005	0.000724	13811.40*	
3	BN 3		1.24	10.13	0.00005	0.000555	17608.50	
4	B 10/7,5 1	7,5	0.83	6.40	0.00005	0.000555	11031.97	12050.77
5	B 10/7,5 2		1.01	7.39	0.00005	0.0005844	11934.35	
6	B 10/7,5 3		1.59	7.47	0.00005	0.0004965	13186.00	
7	B 10/10 1	10	1.01	6.85	0.00005	0.000461	14209.12	13565.27
8	B 10/10 2		0.85	7.16	0.00005	0.0005418	12831.80	
9	B 10/10 3		0.84	7.09	0.00005	0.0005075	13654.90	
10	B 10/12,5 1	12,5	0.62	4.56	0.00005	0.0004322	10320.73	10200.50
11	B 10/12,5 2		0.79	6.99	0.00005	0.000504	13656.17	
12	B 10/12,5 3		0.34	6.72	0.00005	0.0006831	10080.26	

Diperiksa Oleh:
 Laboran

Darusalam
Darusalam.....

Yogyakarta,
 Dikerjakan Oleh :

Ahya Safira
 Ahya Safira



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4169-1996)

Pengirim : Ahya Safira

Keperluan : Tugas Akhir

Lokasi : Laboratorium BKT

Dibuat Tanggal : 18-19 Oktober 2021

Diuji Tanggal : 17-18 November 2021

KADAR KAPUR 12,5%								
No.	Nama sampel	Kadar ASP (%)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	ϵ_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-Rata Modulus Elastisitas (MPa)
1	BN 1	0	1.18	10.04	0.00005	0.000505	19466.37	18537.44
2	BN 2		1.18	10.49	0.00005	0.000724	13811.40	
3	BN 3		1.24	10.13	0.00005	0.000555	17608.50	
4	B 12,5/7,5 1	7,5	0.83	6.40	0.00005	0.000555	11031.96	18534.84
5	B 12,5/7,5 2		1.01	7.39	0.00005	0.0005844	11934.35	
6	B 12,5/7,5 3		1.59	7.47	0.00005	0.0004965	13186.00	
7	B 12,5/10 1	10	1.01	6.85	0.00005	0.000461	14209.12	14376.57
8	B 12,5/10 2		0.85	7.16	0.00005	0.0005418	12831.80	
9	B 12,5/10 3		0.84	7.09	0.00005	0.0005075	13654.90	
10	B 12,5/12,5 1	12,5	0.62	4.56	0.00005	0.0004322	10320.73	11322.51
11	B 12,5/12,5 2		0.79	6.99	0.00005	0.000504	13656.17	
12	B 12,5/12,5 3		0.34	6.72	0.00005	0.0006831	10080.26	

Diperiksa Oleh:
 Laboran

Darusakun
Darusakun.....

Yogyakarta,

Dikerjakan Oleh :

Ahya Safira

Ahya Safira

Lampiran 3. Gambar Alat yang Digunakan**Gambar L-3.1 Piknometer****Gambar L-3.2 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar****Gambar L-3.3 Cetakan Silinder**



Gambar L-3.4 Timbangan Duduk Kapasitas 150 kg



Gambar L-3.5 Timbangan Kapasitas 2500 gram



Gambar L-3.6 Oven



Gambar L-3.7 Cetok



Gambar L-3.8 Saringan



Gambar L-3.9 Mesin Penggoyang



Gambar L-3.10 Kerucut Abrams dan Tongkat Penumbuk



Gambar L-3.11 Palu Karet



Gambar L-3.12 Mixer concrete (Molen)



Gambar L-3.13 *Compressing Testing Machine* (CTM)



Gambar L-3.14 Dial Gauge

Lampiran 4. Gambar Bahan yang Digunakan

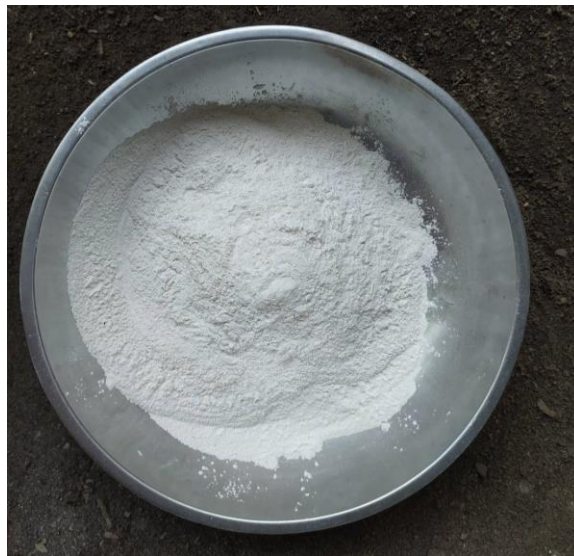
Gambar L-4.1 Agregat Halus dari Gunung Merapi



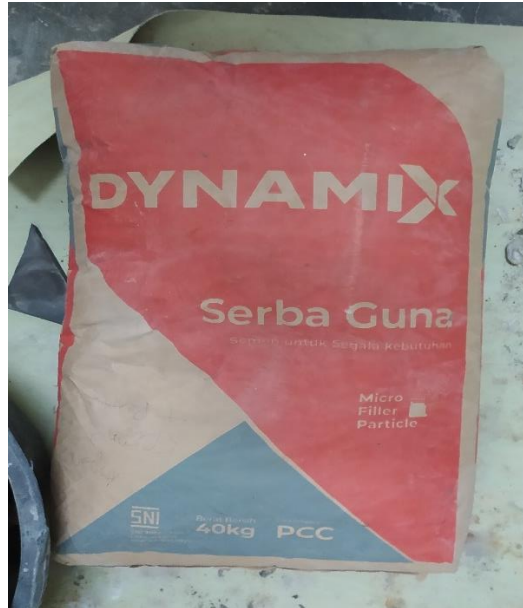
Gambar L-4.2 Agregat Kasar dari Gunung Merapi



Gambar L-4.3 Abu Sekam Padi



Gambar L-4.4 Kapur



Gambar L-4.5 Semen PCC

Lampiran 5. Gambar Hasil Pengujian Beton



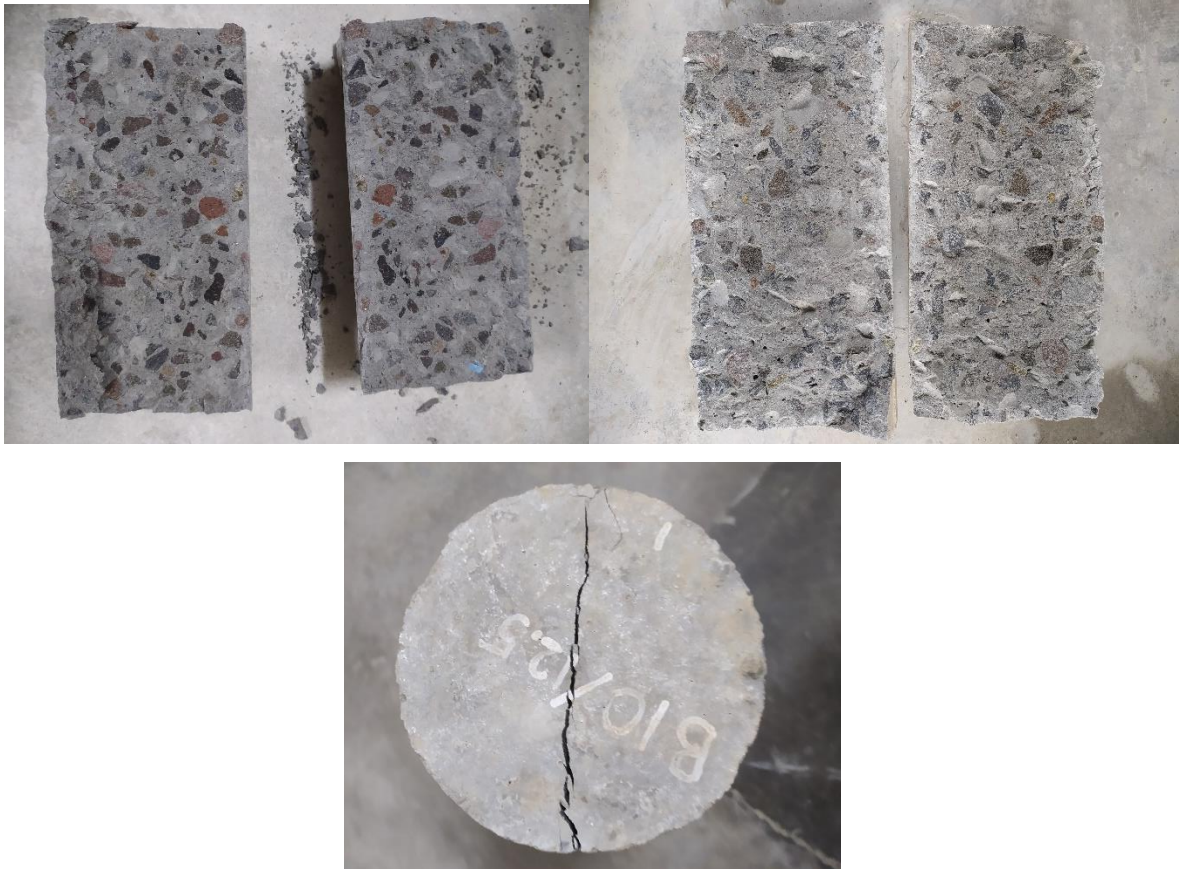
Gambar L-5.1 Proses Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton



Gambar L-5.2 Proses Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



Gambar L-5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas



Gambar L-5.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

BENDA UJI BN 1							
	Diameter	150.23	mm		Tegangan max	25.105	MPa
					40% T max	10.042	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17725.6927	200	0	0
2	10	10	0.005	17725.6927	200	0.56415285	0.000025
3	20	18	0.009	17725.6927	200	1.12830569	0.000045
4	21	20	0.01	17725.6927	200	1.18472098	0.00005
5	30	30	0.015	17725.6927	200	1.69245854	0.000075
6	40	42	0.021	17725.6927	200	2.25661139	0.000105
7	50	52	0.026	17725.6927	200	2.82076423	0.00013
8	60	61	0.0305	17725.6927	200	3.38491708	0.000153
9	70	70	0.035	17725.6927	200	3.94906993	0.000175
10	80	82	0.041	17725.6927	200	4.51322278	0.000205
11	90	93	0.0465	17725.6927	200	5.07737562	0.000233
12	100	103	0.0515	17725.6927	200	5.64152847	0.000258
13	110	115	0.0575	17725.6927	200	6.20568132	0.000288
14	120	127	0.0635	17725.6927	200	6.76983416	0.000318
15	130	139	0.0695	17725.6927	200	7.33398701	0.000348
16	140	152	0.076	17725.6927	200	7.89813986	0.00038
17	150	164	0.082	17725.6927	200	8.4622927	0.00041
18	160	177	0.0885	17725.6927	200	9.02644555	0.000443
19	170	190	0.095	17725.6927	200	9.5905984	0.000475
20						10.042	0.000505
21	180	205	0.1025	17725.6927	200	10.1547512	0.000513
22	190	224	0.112	17725.6927	200	10.7189041	0.00056
23	200	242	0.121	17725.6927	200	11.2830569	0.000605
24	210	252	0.126	17725.6927	200	11.8472098	0.00063
25	220	276	0.138	17725.6927	200	12.4113626	0.00069
26	230	290	0.145	17725.6927	200	12.9755155	0.000725
27	240	309	0.1545	17725.6927	200	13.5396683	0.000773
28	250	329	0.1645	17725.6927	200	14.1038212	0.000823
29	260	352	0.176	17725.6927	200	14.667974	0.00088
30	270	368	0.184	17725.6927	200	15.2321269	0.00092
31	280	389	0.1945	17725.6927	200	15.7962797	0.000973
32	290	408	0.204	17725.6927	200	16.3604326	0.00102
33	300	435	0.2175	17725.6927	200	16.9245854	0.001088
34	310	452	0.226	17725.6927	200	17.4887383	0.00113
35	320	469	0.2345	17725.6927	200	18.0528911	0.001173
36	330	510	0.255	17725.6927	200	18.617044	0.001275
37	340	535	0.2675	17725.6927	200	19.1811968	0.001338
38	350	568	0.284	17725.6927	200	19.7453496	0.00142
39	360	590	0.295	17725.6927	200	20.3095025	0.001475
40	370	620	0.31	17725.6927	200	20.8736553	0.00155
41	380	682	0.341	17725.6927	200	21.4378082	0.001705
42	390	734	0.367	17725.6927	200	22.001961	0.001835
43	400	764	0.382	17725.6927	200	22.5661139	0.00191
44	410	793	0.3965	17725.6927	200	23.1302667	0.001983
45	420	831	0.4155	17725.6927	200	23.6944196	0.002078
46	430	895	0.4475	17725.6927	200	24.2585724	0.002238
47	440	945	0.4725	17725.6927	200	24.8227253	0.002363
48	445	1010	0.505	17725.6927	200	25.1048017	0.002525
49	440	1089	0.5445	17725.6927	200	24.8227253	0.002723

BENDA UJI BN 2							
	Diameter	150.75	mm		Tegangan max	26.221	MPa
					40% T max	10.488	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17848.615	200	0	0
2	10	9	0.0045	17848.615	200	0.5602676	0.0000225
3	20	18	0.009	17848.615	200	1.1205351	0.000045
4	21	20	0.01	17848.615	200	1.1765619	0.00005
5	30	38	0.019	17848.615	200	1.6808027	0.000095
6	40	54	0.027	17848.615	200	2.2410702	0.000135
7	50	68	0.034	17848.615	200	2.8013378	0.00017
8	60	83	0.0415	17848.615	200	3.3616054	0.0002075
9	70	97	0.0485	17848.615	200	3.9218729	0.0002425
10	80	110	0.055	17848.615	200	4.4821405	0.000275
11	90	126	0.063	17848.615	200	5.042408	0.000315
12	100	143	0.0715	17848.615	200	5.6026756	0.0003575
13	110	160	0.08	17848.615	200	6.1629432	0.0004
14	120	174	0.087	17848.615	200	6.7232107	0.000435
15	130	201	0.1005	17848.615	200	7.2834783	0.0005025
16	140	214	0.107	17848.615	200	7.8437458	0.000535
17	150	226	0.113	17848.615	200	8.4040134	0.000565
18	160	241	0.1205	17848.615	200	8.964281	0.0006025
19	170	255	0.1275	17848.615	200	9.5245485	0.0006375
20	180	276	0.138	17848.615	200	10.084816	0.00069
21						10.488	0.0007242
22	190	295	0.1475	17848.615	200	10.645084	0.0007375
23	200	305	0.1525	17848.615	200	11.205351	0.0007625
24	210	328	0.164	17848.615	200	11.765619	0.00082
25	220	342	0.171	17848.615	200	12.325886	0.000855
26	230	364	0.182	17848.615	200	12.886154	0.00091
27	240	390	0.195	17848.615	200	13.446421	0.000975
28	250	402	0.201	17848.615	200	14.006689	0.001005
29	260	422	0.211	17848.615	200	14.566957	0.001055
30	270	443	0.2215	17848.615	200	15.127224	0.0011075
31	280	470	0.235	17848.615	200	15.687492	0.001175
32	290	485	0.2425	17848.615	200	16.247759	0.0012125
33	300	511	0.2555	17848.615	200	16.808027	0.0012775
34	310	542	0.271	17848.615	200	17.368294	0.001355
35	320	575	0.2875	17848.615	200	17.928562	0.0014375
36	330	613	0.3065	17848.615	200	18.488829	0.0015325
37	340	639	0.3195	17848.615	200	19.049097	0.0015975
38	350	685	0.3425	17848.615	200	19.609365	0.0017125
39	360	710	0.355	17848.615	200	20.169632	0.001775
42	390	807	0.4035	17848.615	200	21.850435	0.0020175
43	400	832	0.416	17848.615	200	22.410702	0.00208
44	410	853	0.4265	17848.615	200	22.97097	0.0021325
45	420	878	0.439	17848.615	200	23.531238	0.002195
46	430	925	0.4625	17848.615	200	24.091505	0.0023125
47	440	962	0.481	17848.615	200	24.651773	0.002405
48	450	998	0.499	17848.615	200	25.21204	0.002495
49	460	1055	0.5275	17848.615	200	25.772308	0.0026375
50	468	1105	0.5525	17848.615	200	26.220522	0.0027625
51	460	1182	0.591	17848.615	200	25.772308	0.002955

BENDA UJI BN 3							
	Diameter	150.41	mm		Tegangan max	25.326	MPa
					40% T max	10.130	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17768.19468	200	0	0
2	10	9	0.0045	17768.19468	200	0.562803379	0.0000225
	20	14	0.007	17768.19468	200	1.125606758	0.000035
3	22	20	0.01	17768.19468	200	1.238167434	0.00005
4	30	23	0.0115	17768.19468	200	1.688410137	0.0000575
5	40	30	0.015	17768.19468	200	2.251213515	0.000075
6	50	42	0.021	17768.19468	200	2.814016894	0.000105
7	60	53	0.0265	17768.19468	200	3.376820273	0.0001325
8	70	64	0.032	17768.19468	200	3.939623652	0.00016
9	80	75	0.0375	17768.19468	200	4.502427031	0.0001875
10	90	92	0.046	17768.19468	200	5.06523041	0.00023
11	100	102	0.051	17768.19468	200	5.628033789	0.000255
12	110	115	0.0575	17768.19468	200	6.190837168	0.0002875
13	120	130	0.065	17768.19468	200	6.753640546	0.000325
14	130	141	0.0705	17768.19468	200	7.316443925	0.0003525
15	140	160	0.08	17768.19468	200	7.879247304	0.0004
16	150	171	0.0855	17768.19468	200	8.442050683	0.0004275
17	160	190	0.095	17768.19468	200	9.004854062	0.000475
18	170	204	0.102	17768.19468	200	9.567657441	0.00051
19	180	222	0.111	17768.19468	200	10.13046082	0.000555
20	190	238	0.119	17768.19468	200	10.6932642	0.000595
21	200	253	0.1265	17768.19468	200	11.25606758	0.0006325
22	210	266	0.133	17768.19468	200	11.81887096	0.000665
23	220	279	0.1395	17768.19468	200	12.38167434	0.0006975
24	230	299	0.1495	17768.19468	200	12.94447771	0.0007475
25	240	324	0.162	17768.19468	200	13.50728109	0.00081
26	250	345	0.1725	17768.19468	200	14.07008447	0.0008625
27	260	362	0.181	17768.19468	200	14.63288785	0.000905
28	270	387	0.1935	17768.19468	200	15.19569123	0.0009675
29	280	407	0.2035	17768.19468	200	15.75849461	0.0010175
30	290	416	0.208	17768.19468	200	16.32129799	0.00104
31	300	435	0.2175	17768.19468	200	16.88410137	0.0010875
32	310	460	0.23	17768.19468	200	17.44690474	0.00115
33	320	481	0.2405	17768.19468	200	18.00970812	0.0012025
34	330	514	0.257	17768.19468	200	18.5725115	0.001285
35	340	540	0.27	17768.19468	200	19.13531488	0.00135
36	350	572	0.286	17768.19468	200	19.69811826	0.00143
37	360	602	0.301	17768.19468	200	20.26092164	0.001505
38	370	652	0.326	17768.19468	200	20.82372502	0.00163
39	380	672	0.336	17768.19468	200	21.3865284	0.00168
40	390	737	0.3685	17768.19468	200	21.94933178	0.0018425
41	400	775	0.3875	17768.19468	200	22.51213515	0.0019375
42	410	818	0.409	17768.19468	200	23.07493853	0.002045
43	420	890	0.445	17768.19468	200	23.63774191	0.002225
44	430	968	0.484	17768.19468	200	24.20054529	0.00242
45	440	1060	0.53	17768.19468	200	24.76334867	0.00265
46	450	1180	0.59	17768.19468	200	25.32615205	0.00295

BENDA UJI				B7.5/7,5 1			
	Diameter	150.63	mm		Tegangan max	21.605	MPa
					40% T max	8.642	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17820.21065	200	0	0
2	10	12	0.006	17820.21065	200	0.5611606	0.00003
3	20	19	0.0095	17820.21065	200	1.1223212	0.0000475
4	21	20	0.01	17820.21065	200	1.1784372	0.00005
5	30	27	0.0135	17820.21065	200	1.6834818	0.0000675
6	40	39	0.0195	17820.21065	200	2.2446424	0.0000975
7	50	50	0.025	17820.21065	200	2.805803	0.000125
8	60	60	0.03	17820.21065	200	3.3669636	0.00015
9	70	69	0.0345	17820.21065	200	3.9281242	0.0001725
10	80	77	0.0385	17820.21065	200	4.4892848	0.0001925
11	90	86	0.043	17820.21065	200	5.0504453	0.000215
12	100	94	0.047	17820.21065	200	5.6116059	0.000235
13	110	101	0.0505	17820.21065	200	6.1727665	0.0002525
14	120	110	0.055	17820.21065	200	6.7339271	0.000275
15	130	117	0.0585	17820.21065	200	7.2950877	0.0002925
16	140	126	0.063	17820.21065	200	7.8562483	0.000315
17	150	138	0.069	17820.21065	200	8.4174089	0.000345
18						8.642	0.000353
19	160	146	0.073	17820.21065	200	8.9785695	0.000365
20	170	158	0.079	17820.21065	200	9.5397301	0.000395
21	180	167	0.0835	17820.21065	200	10.100891	0.0004175
22	190	180	0.09	17820.21065	200	10.662051	0.00045
23	200	195	0.0975	17820.21065	200	11.223212	0.0004875
24	210	208	0.104	17820.21065	200	11.784372	0.00052
25	220	220	0.11	17820.21065	200	12.345533	0.00055
26	230	235	0.1175	17820.21065	200	12.906694	0.0005875
27	240	250	0.125	17820.21065	200	13.467854	0.000625
28	250	268	0.134	17820.21065	200	14.029015	0.00067
29	260	283	0.1415	17820.21065	200	14.590175	0.0007075
30	270	300	0.15	17820.21065	200	15.151336	0.00075
31	280	316	0.158	17820.21065	200	15.712497	0.00079
32	290	338	0.169	17820.21065	200	16.273657	0.000845
33	300	361	0.1805	17820.21065	200	16.834818	0.0009025
34	310	384	0.192	17820.21065	200	17.395978	0.00096
35	320	405	0.2025	17820.21065	200	17.957139	0.0010125
36	330	424	0.212	17820.21065	200	18.5183	0.00106
37	340	480	0.24	17820.21065	200	19.07946	0.0012
38	350	510	0.255	17820.21065	200	19.640621	0.001275
39	360	560	0.28	17820.21065	200	20.201781	0.0014
40	370	600	0.3	17820.21065	200	20.762942	0.0015
41	380	695	0.3475	17820.21065	200	21.324103	0.0017375
42	385	800	0.4	17820.21065	200	21.604683	0.002
43	380	895	0.4475	17820.21065	200	21.324103	0.0022375

BENDA UJI B7,5/7,5 2							
	Diameter	150.63	mm		Tegangan max	22.727	MPa
					40% T max	9.091	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17820.211	200	0	0
2	10	6	0.003	17820.211	200	0.5611606	0.000015
3	20	13	0.0065	17820.211	200	1.1223212	0.0000325
4	30	20	0.01	17820.211	200	1.6834818	0.00005
5	40	28	0.014	17820.211	200	2.2446424	0.00007
6	50	38	0.019	17820.211	200	2.805803	0.000095
7	60	47	0.0235	17820.211	200	3.3669636	0.0001175
8	70	56	0.028	17820.211	200	3.9281242	0.00014
9	80	65	0.0325	17820.211	200	4.4892848	0.0001625
10	90	72	0.036	17820.211	200	5.0504453	0.00018
11	100	84	0.042	17820.211	200	5.6116059	0.00021
12	110	93	0.0465	17820.211	200	6.1727665	0.0002325
13	120	104	0.052	17820.211	200	6.7339271	0.00026
14	130	114	0.057	17820.211	200	7.2950877	0.000285
15	140	128	0.064	17820.211	200	7.8562483	0.00032
16	150	131	0.0655	17820.211	200	8.4174089	0.0003275
17	160	145	0.0725	17820.211	200	8.9785695	0.0003625
18						9.091	0.000365
19	170	150	0.075	17820.211	200	9.5397301	0.000375
20	180	170	0.085	17820.211	200	10.100891	0.000425
21	190	182	0.091	17820.211	200	10.662051	0.000455
22	200	195	0.0975	17820.211	200	11.223212	0.0004875
23	210	210	0.105	17820.211	200	11.784372	0.000525
24	220	222	0.111	17820.211	200	12.345533	0.000555
25	230	236	0.118	17820.211	200	12.906694	0.00059
26	240	251	0.1255	17820.211	200	13.467854	0.0006275
27	250	268	0.134	17820.211	200	14.029015	0.00067
28	260	289	0.1445	17820.211	200	14.590175	0.0007225
29	270	310	0.155	17820.211	200	15.151336	0.000775
30	280	325	0.1625	17820.211	200	15.712497	0.0008125
31	290	344	0.172	17820.211	200	16.273657	0.00086
32	300	363	0.1815	17820.211	200	16.834818	0.0009075
33	310	390	0.195	17820.211	200	17.395978	0.000975
34	320	408	0.204	17820.211	200	17.957139	0.00102
35	330	432	0.216	17820.211	200	18.5183	0.00108
36	340	460	0.23	17820.211	200	19.07946	0.00115
37	350	492	0.246	17820.211	200	19.640621	0.00123
38	360	520	0.26	17820.211	200	20.201781	0.0013
39	370	560	0.28	17820.211	200	20.762942	0.0014
40	380	603	0.3015	17820.211	200	21.324103	0.0015075
41	390	660	0.33	17820.211	200	21.885263	0.00165
42	400	770	0.385	17820.211	200	22.446424	0.001925
43	405	810	0.405	17820.211	200	22.727004	0.002025
44	400	845	0.4225	17820.211	200	22.446424	0.0021125

BENDA UJI				B7,5/7,5 3			
	Diameter	150.13	Mm		Tegangan max	23.725	MPa
					40% T max	9.490	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ϵ
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17702.88857	200	0	0
2	10	10	0.005	17702.88857	200	0.564879565	0.000025
3	20	15	0.0075	17702.88857	200	1.129759131	0.0000375
4	30	19	0.0095	17702.88857	200	1.694638696	0.0000475
5	31	20	0.01	17702.88857	200	1.751126653	0.00005
6	40	25	0.0125	17702.88857	200	2.259518262	0.0000625
7	50	31	0.0155	17702.88857	200	2.824397827	0.0000775
8	60	38	0.019	17702.88857	200	3.389277393	0.000095
9	70	47	0.0235	17702.88857	200	3.954156958	0.0001175
10	80	55	0.0275	17702.88857	200	4.519036524	0.0001375
11	90	64	0.032	17702.88857	200	5.083916089	0.00016
12	100	72	0.036	17702.88857	200	5.648795654	0.00018
13	110	81	0.0405	17702.88857	200	6.21367522	0.0002025
14	120	90	0.045	17702.88857	200	6.778554785	0.000225
15	130	101	0.0505	17702.88857	200	7.343434351	0.0002525
16	140	112	0.056	17702.88857	200	7.908313916	0.00028
17	150	124	0.062	17702.88857	200	8.473193482	0.00031
18	160	132	0.066	17702.88857	200	9.038073047	0.00033
19						9.490	0.000358
20	170	146	0.073	17702.88857	200	9.602952613	0.000365
21	180	157	0.0785	17702.88857	200	10.16783218	0.0003925
22	190	168	0.084	17702.88857	200	10.73271174	0.00042
23	200	180	0.09	17702.88857	200	11.29759131	0.00045
24	210	193	0.0965	17702.88857	200	11.86247087	0.0004825
25	220	205	0.1025	17702.88857	200	12.42735044	0.0005125
26	230	221	0.1105	17702.88857	200	12.99223001	0.0005525
27	240	236	0.118	17702.88857	200	13.55710957	0.00059
28	250	248	0.124	17702.88857	200	14.12198914	0.00062
29	260	261	0.1305	17702.88857	200	14.6868687	0.0006525
30	270	274	0.137	17702.88857	200	15.25174827	0.000685
31	280	290	0.145	17702.88857	200	15.81662783	0.000725
32	290	304	0.152	17702.88857	200	16.3815074	0.00076
33	300	326	0.163	17702.88857	200	16.94638696	0.000815
34	310	337	0.1685	17702.88857	200	17.51126653	0.0008425
35	320	361	0.1805	17702.88857	200	18.07614609	0.0009025
36	330	380	0.19	17702.88857	200	18.64102566	0.00095
37	340	403	0.2015	17702.88857	200	19.20590523	0.0010075
38	350	430	0.215	17702.88857	200	19.77078479	0.001075
39	360	460	0.23	17702.88857	200	20.33566436	0.00115
40	370	485	0.2425	17702.88857	200	20.90054392	0.0012125
41	380	515	0.2575	17702.88857	200	21.46542349	0.0012875
42	390	548	0.274	17702.88857	200	22.03030305	0.00137
42	400	598	0.299	17702.88857	200	22.59518262	0.001495
42	410	680	0.34	17702.88857	200	23.16006218	0.0017
	420	780	0.39	17702.88857	200	23.72494175	0.00195

BENDA UJI				B7.5/10 1			
	Diameter	149.83	mm		Tegangan max	17.582	MPa
					40% T max	7.033	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17631.42607	200	0	0
2	10	8	0.004	17631.42607	200	0.5671691	0.00002
3	20	18	0.009	17631.42607	200	1.1343382	0.000045
4	21	20	0.01	17631.42607	200	1.1910551	0.00005
5	30	29	0.0145	17631.42607	200	1.7015073	0.0000725
6	40	37	0.0185	17631.42607	200	2.2686764	0.0000925
7	50	46	0.023	17631.42607	200	2.8358455	0.000115
8	60	59	0.0295	17631.42607	200	3.4030146	0.0001475
9	70	72	0.036	17631.42607	200	3.9701837	0.00018
10	80	80	0.04	17631.42607	200	4.5373528	0.0002
11	90	91	0.0455	17631.42607	200	5.1045219	0.0002275
12	100	103	0.0515	17631.42607	200	5.671691	0.0002575
13	110	112	0.056	17631.42607	200	6.2388601	0.00028
14	120	126	0.063	17631.42607	200	6.8060292	0.000315
15						7.03290	0.000336
16	130	147	0.0735	17631.42607	200	7.3731983	0.0003675
17	140	168	0.084	17631.42607	200	7.9403674	0.00042
18	150	184	0.092	17631.42607	200	8.5075365	0.00046
19	160	207	0.1035	17631.42607	200	9.0747056	0.0005175
20	170	227	0.1135	17631.42607	200	9.6418746	0.0005675
21	180	258	0.129	17631.42607	200	10.209044	0.000645
22	190	279	0.1395	17631.42607	200	10.776213	0.0006975
23	200	316	0.158	17631.42607	200	11.343382	0.00079
24	210	346	0.173	17631.42607	200	11.910551	0.000865
25	220	389	0.1945	17631.42607	200	12.47772	0.0009725
26	230	422	0.211	17631.42607	200	13.044889	0.001055
27	240	459	0.2295	17631.42607	200	13.612058	0.0011475
28	250	493	0.2465	17631.42607	200	14.179227	0.0012325
29	260	550	0.275	17631.42607	200	14.746397	0.001375
30	270	599	0.2995	17631.42607	200	15.313566	0.0014975
31	280	660	0.33	17631.42607	200	15.880735	0.00165
32	290	710	0.355	17631.42607	200	16.447904	0.001775
33	300	806	0.403	17631.42607	200	17.015073	0.002015
34	310	1038	0.519	17631.42607	200	17.582242	0.002595

BENDA UJI				B7,5/10 2			
	Diameter	150.50	mm		Tegangan max	19.675	MPa
					40% T max	7.870	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17789.4648	200	0	0
2	10	11	0.0055	17789.4648	200	0.5621305	0.0000275
3	20	20	0.01	17789.4648	200	1.1242609	0.00005
4	30	26	0.013	17789.4648	200	1.6863914	0.000065
5	40	38	0.019	17789.4648	200	2.2485218	0.000095
6	50	50	0.025	17789.4648	200	2.8106523	0.000125
7	60	60	0.03	17789.4648	200	3.3727828	0.00015
8	70	72	0.036	17789.4648	200	3.9349132	0.00018
9	80	84	0.042	17789.4648	200	4.4970437	0.00021
10	90	95	0.0475	17789.4648	200	5.0591741	0.0002375
11	100	105	0.0525	17789.4648	200	5.6213046	0.0002625
12	110	116	0.058	17789.4648	200	6.1834351	0.00029
13	120	130	0.065	17789.4648	200	6.7455655	0.000325
14	130	143	0.0715	17789.4648	200	7.307696	0.0003575
15	140	157	0.0785	17789.4648	200	7.8698264	0.0003925
16	150	172	0.086	17789.4648	200	8.4319569	0.00043
17	160	186	0.093	17789.4648	200	8.9940874	0.000465
18	170	202	0.101	17789.4648	200	9.5562178	0.000505
19	180	216	0.108	17789.4648	200	10.118348	0.00054
20	190	235	0.1175	17789.4648	200	10.680479	0.0005875
21	200	256	0.128	17789.4648	200	11.242609	0.00064
22	210	273	0.1365	17789.4648	200	11.80474	0.0006825
23	220	295	0.1475	17789.4648	200	12.36687	0.0007375
24	230	306	0.153	17789.4648	200	12.929001	0.000765
25	240	338	0.169	17789.4648	200	13.491131	0.000845
26	250	366	0.183	17789.4648	200	14.053261	0.000915
27	260	388	0.194	17789.4648	200	14.615392	0.00097
28	270	418	0.209	17789.4648	200	15.177522	0.001045
29	280	452	0.226	17789.4648	200	15.739653	0.00113
30	290	480	0.24	17789.4648	200	16.301783	0.0012
31	300	528	0.264	17789.4648	200	16.863914	0.00132
32	310	575	0.2875	17789.4648	200	17.426044	0.0014375
33	320	620	0.31	17789.4648	200	17.988175	0.00155
34	330	680	0.34	17789.4648	200	18.550305	0.0017
35	340	765	0.3825	17789.4648	200	19.112436	0.0019125
36	350	880	0.44	17789.4648	200	19.674566	0.0022

BENDA UJI				B7.5/10 3			
	Diameter	150.83	mm		Tegangan max	15.783	MPa
					40% T max	6.313	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ϵ
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17867.5639	200	0	0
2	10	11	0.0055	17867.5639	200	0.559673387	0.0000275
3	20	18	0.009	17867.5639	200	1.119346775	0.000045
4	27	20	0.01	17867.5639	200	1.511118146	0.00005
5	30	26	0.013	17867.5639	200	1.679020162	0.000065
6	40	34	0.017	17867.5639	200	2.238693549	0.000085
7	50	45	0.0225	17867.5639	200	2.798366937	0.0001125
8	60	56	0.028	17867.5639	200	3.358040324	0.00014
9	70	65	0.0325	17867.5639	200	3.917713711	0.0001625
10	80	73	0.0365	17867.5639	200	4.477387099	0.0001825
11	90	84	0.042	17867.5639	200	5.037060486	0.00021
12	100	95	0.0475	17867.5639	200	5.596733873	0.0002375
13	110	108	0.054	17867.5639	200	6.156407261	0.00027
14						6.313	0.0002798
15	120	122	0.061	17867.5639	200	6.716080648	0.000305
16	130	138	0.069	17867.5639	200	7.275754035	0.000345
17	140	152	0.076	17867.5639	200	7.835427423	0.00038
18	150	168	0.084	17867.5639	200	8.39510081	0.00042
19	160	186	0.093	17867.5639	200	8.954774197	0.000465
20	170	201	0.1005	17867.5639	200	9.514447585	0.0005025
21	180	220	0.11	17867.5639	200	10.07412097	0.00055
22	190	240	0.12	17867.5639	200	10.63379436	0.0006
23	200	265	0.1325	17867.5639	200	11.19346775	0.0006625
24	210	286	0.143	17867.5639	200	11.75314113	0.000715
25	220	310	0.155	17867.5639	200	12.31281452	0.000775
26	230	345	0.1725	17867.5639	200	12.87248791	0.0008625
27	240	380	0.19	17867.5639	200	13.4321613	0.00095
28	250	420	0.21	17867.5639	200	13.99183468	0.00105
29	260	460	0.23	17867.5639	200	14.55150807	0.00115
30	270	510	0.255	17867.5639	200	15.11118146	0.001275
31	280	584	0.292	17867.5639	200	15.67085485	0.00146
32	282	701	0.3505	17867.5639	200	15.78278952	0.0017525

BENDA UJI				B7.5/12.5 1			
	Diameter	150.21	mm		Tegangan max	18.453	MPa
					40% T max	7.381	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ϵ
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17720.9734	200	0	0
2	10	20	0.01	17720.9734	200	0.56430309	0.00005
3	20	31	0.0155	17720.9734	200	1.12860617	0.0000775
4	30	52	0.026	17720.9734	200	1.69290926	0.00013
5	40	68	0.034	17720.9734	200	2.25721235	0.00017
6	50	86	0.043	17720.9734	200	2.82151544	0.000215
7	60	103	0.0515	17720.9734	200	3.38581852	0.0002575
8	70	113	0.0565	17720.9734	200	3.95012161	0.0002825
9	80	133	0.0665	17720.9734	200	4.5144247	0.0003325
10	90	150	0.075	17720.9734	200	5.07872779	0.000375
11	100	167	0.0835	17720.9734	200	5.64303087	0.0004175
12	110	181	0.0905	17720.9734	200	6.20733396	0.0004525
13	120	203	0.1015	17720.9734	200	6.77163705	0.0005075
14	130	221	0.1105	17720.9734	200	7.33594014	0.0005525
15						7.38108	0.0005565
16	140	241	0.1205	17720.9734	200	7.90024322	0.0006025
17	150	264	0.132	17720.9734	200	8.46454631	0.00066
18	160	285	0.1425	17720.9734	200	9.0288494	0.0007125
19	170	307	0.1535	17720.9734	200	9.59315249	0.0007675
20	180	331	0.1655	17720.9734	200	10.1574556	0.0008275
21	190	356	0.178	17720.9734	200	10.7217587	0.00089
22	200	378	0.189	17720.9734	200	11.2860617	0.000945
23	210	405	0.2025	17720.9734	200	11.8503648	0.0010125
24	220	435	0.2175	17720.9734	200	12.4146679	0.0010875
25	230	468	0.234	17720.9734	200	12.978971	0.00117
26	240	492	0.246	17720.9734	200	13.5432741	0.00123
27	250	521	0.2605	17720.9734	200	14.1075772	0.0013025
28	260	560	0.28	17720.9734	200	14.6718803	0.0014
29	270	601	0.3005	17720.9734	200	15.2361834	0.0015025
30	280	654	0.327	17720.9734	200	15.8004864	0.001635
31	290	705	0.3525	17720.9734	200	16.3647895	0.0017625
32	300	780	0.39	17720.9734	200	16.9290926	0.00195
33	310	851	0.4255	17720.9734	200	17.4933957	0.0021275
34	320	954	0.477	17720.9734	200	18.0576988	0.002385
35	327	1030	0.515	17720.9734	200	18.452711	0.002575
36	323	1070	0.535	17720.9734	200	18.2269897	0.002675

BENDA UJI				B7.5/12,5 2			
	Diameter	151.60	mm		Tegangan max	17.174	MPa
					40% T max	6.870	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	18050.4604	200	0	0
2	10	2	0.001	18050.4604	200	0.5540025	0.000005
3	20	9	0.0045	18050.4604	200	1.108005	0.0000225
4	30	13	0.0065	18050.4604	200	1.6620075	0.0000325
5	40	19	0.0095	18050.4604	200	2.21601	0.0000475
6	50	20	0.01	18050.4604	200	2.7700124	0.00005
7	60	36	0.018	18050.4604	200	3.3240149	0.00009
8	70	44	0.022	18050.4604	200	3.8780174	0.00011
9	80	52	0.026	18050.4604	200	4.4320199	0.00013
10	90	60	0.03	18050.4604	200	4.9860224	0.00015
11	100	70	0.035	18050.4604	200	5.5400249	0.000175
12	110	80	0.04	18050.4604	200	6.0940274	0.0002
13	120	89	0.0445	18050.4604	200	6.6480299	0.000225
14						6.86963	0.0002335
15	130	100	0.05	18050.4604	200	7.2020324	0.00025
16	140	110	0.055	18050.4604	200	7.7560348	0.000275
17	150	122	0.061	18050.4604	200	8.3100373	0.000305
18	160	135	0.0675	18050.4604	200	8.8640398	0.0003375
19	170	147	0.0735	18050.4604	200	9.4180423	0.0003675
20	180	157	0.0785	18050.4604	200	9.9720448	0.0003925
21	190	174	0.087	18050.4604	200	10.526047	0.000435
22	200	186	0.093	18050.4604	200	11.08005	0.000465
23	210	198	0.099	18050.4604	200	11.634052	0.000495
24	220	211	0.1055	18050.4604	200	12.188055	0.0005275
25	230	225	0.1125	18050.4604	200	12.742057	0.0005625
26	240	240	0.12	18050.4604	200	13.29606	0.0006
27	250	254	0.127	18050.4604	200	13.850062	0.000635
28	260	268	0.134	18050.4604	200	14.404065	0.00067
29	270	286	0.143	18050.4604	200	14.958067	0.000715
30	280	303	0.1515	18050.4604	200	15.51207	0.0007575
31	290	320	0.16	18050.4604	200	16.066072	0.0008
32	300	346	0.173	18050.4604	200	16.620075	0.000865
33	310	405	0.2025	18050.4604	200	17.174077	0.0010125

BENDA UJI				B7.5/12,5 3			
	Diameter	150.27	mm		Tegangan max	18.325	MPa
					40% T max	7.330	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17735.13318	200	0	0
2	10	6	0.003	17735.13318	200	0.563852546	0.000015
3	20	15	0.0075	17735.13318	200	1.127705092	0.0000375
4	29	20	0.01	17735.13318	200	1.635172384	0.00005
5	30	24	0.012	17735.13318	200	1.691557638	0.00006
6	40	33	0.0165	17735.13318	200	2.255410184	0.0000825
7	50	44	0.022	17735.13318	200	2.81926273	0.00011
8	60	54	0.027	17735.13318	200	3.383115276	0.000135
9	70	63	0.0315	17735.13318	200	3.946967822	0.0001575
10	80	80	0.04	17735.13318	200	4.510820368	0.0002
11	90	90	0.045	17735.13318	200	5.074672915	0.000225
12	100	99	0.0495	17735.13318	200	5.638525461	0.0002475
13	110	110	0.055	17735.13318	200	6.202378007	0.000275
14	120	122	0.061	17735.13318	200	6.766230553	0.000305
15	130	135	0.0675	17735.13318	200	7.330083099	0.0003375
16	140	143	0.0715	17735.13318	200	7.893935645	0.0003575
17	150	159	0.0795	17735.13318	200	8.457788191	0.0003975
18	160	168	0.084	17735.13318	200	9.021640737	0.00042
19	170	185	0.0925	17735.13318	200	9.585493283	0.0004625
20	180	198	0.099	17735.13318	200	10.14934583	0.000495
21	190	218	0.109	17735.13318	200	10.71319838	0.000545
22	200	226	0.113	17735.13318	200	11.27705092	0.000565
23	210	242	0.121	17735.13318	200	11.84090347	0.000605
24	220	255	0.1275	17735.13318	200	12.40475601	0.0006375
25	230	270	0.135	17735.13318	200	12.96860856	0.000675
26	240	284	0.142	17735.13318	200	13.53246111	0.00071
27	250	303	0.1515	17735.13318	200	14.09631365	0.0007575
28	260	320	0.16	17735.13318	200	14.6601662	0.0008
29	270	334	0.167	17735.13318	200	15.22401874	0.000835
30	280	353	0.1765	17735.13318	200	15.78787129	0.0008825
31	290	372	0.186	17735.13318	200	16.35172384	0.00093
32	300	396	0.198	17735.13318	200	16.91557638	0.00099
33	310	425	0.2125	17735.13318	200	17.47942893	0.0010625
34	320	469	0.2345	17735.13318	200	18.04328147	0.0011725
35	325	511	0.2555	17735.13318	200	18.32520775	0.0012775
36	320	540	0.27	17735.13318	200	18.04328147	0.00135

BENDA UJI				B10/7.5 1			
	Diameter	151.93	mm		Tegangan max	15.996	MPa
					40% T max	6.399	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ϵ
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	18129.12974	200	0	0
2	10	14	0.007	18129.12974	200	0.55159846	0.000035
3	15	20	0.01	18129.12974	200	0.82739769	0.00005
4	20	26	0.013	18129.12974	200	1.10319691	0.000065
5	30	44	0.022	18129.12974	200	1.65479537	0.00011
6	40	65	0.0325	18129.12974	200	2.20639383	0.0001625
7	50	84	0.042	18129.12974	200	2.75799229	0.00021
8	60	98	0.049	18129.12974	200	3.30959074	0.000245
9	70	119	0.0595	18129.12974	200	3.8611892	0.0002975
10	80	149	0.0745	18129.12974	200	4.41278766	0.0003725
11	90	165	0.0825	18129.12974	200	4.96438612	0.0004125
12	100	185	0.0925	18129.12974	200	5.51598457	0.0004625
13	110	210	0.105	18129.12974	200	6.06758303	0.000525
14						6.39854	0.000555
15	120	230	0.115	18129.12974	200	6.61918149	0.000575
16	130	260	0.13	18129.12974	200	7.17077995	0.00065
17	140	290	0.145	18129.12974	200	7.7223784	0.000725
18	150	315	0.1575	18129.12974	200	8.27397686	0.0007875
19	160	345	0.1725	18129.12974	200	8.82557532	0.0008625
20	170	382	0.191	18129.12974	200	9.37717378	0.000955
21	180	415	0.2075	18129.12974	200	9.92877223	0.0010375
22	190	460	0.23	18129.12974	200	10.4803707	0.00115
23	200	498	0.249	18129.12974	200	11.0319691	0.001245
24	210	540	0.27	18129.12974	200	11.5835676	0.00135
25	220	581	0.2905	18129.12974	200	12.1351661	0.0014525
26	230	636	0.318	18129.12974	200	12.6867645	0.00159
27	240	714	0.357	18129.12974	200	13.238363	0.001785
28	250	750	0.375	18129.12974	200	13.7899614	0.001875
29	260	840	0.42	18129.12974	200	14.3415599	0.0021
30	270	925	0.4625	18129.12974	200	14.8931583	0.0023125
31	280	1036	0.518	18129.12974	200	15.4447568	0.00259
32	290	1160	0.58	18129.12974	200	15.9963553	0.0029
33	298	1250	0.625	18129.12974	200	16.437634	0.003125

BENDA UJI				B10/7.5 2			
	Diameter	150.33	mm		Tegangan max	18.480	MPa
					40% T max	7.392	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17749.29862	200	0	0
2	10	13	0.0065	17749.29862	200	0.56340254	0.0000325
3	18	20	0.01	17749.29862	200	1.01412458	0.00005
4	20	24	0.012	17749.29862	200	1.12680509	0.00006
5	30	37	0.0185	17749.29862	200	1.69020763	0.0000925
6	40	53	0.0265	17749.29862	200	2.25361018	0.0001325
7	50	68	0.034	17749.29862	200	2.81701272	0.00017
8	60	84	0.042	17749.29862	200	3.38041526	0.00021
9	70	103	0.0515	17749.29862	200	3.94381781	0.0002575
10	80	124	0.062	17749.29862	200	4.50722035	0.00031
11	90	144	0.072	17749.29862	200	5.0706229	0.00036
12	100	168	0.084	17749.29862	200	5.63402544	0.00042
13	110	190	0.095	17749.29862	200	6.19742798	0.000475
14	120	211	0.1055	17749.29862	200	6.76083053	0.0005275
15	130	231	0.1155	17749.29862	200	7.32423307	0.0005775
16						7.39184	0.0005844
17	140	254	0.127	17749.29862	200	7.88763562	0.000635
18	150	298	0.149	17749.29862	200	8.45103816	0.000745
19	160	320	0.16	17749.29862	200	9.0144407	0.0008
20	170	354	0.177	17749.29862	200	9.57784325	0.000885
21	180	380	0.19	17749.29862	200	10.1412458	0.00095
22	190	415	0.2075	17749.29862	200	10.7046483	0.0010375
23	200	455	0.2275	17749.29862	200	11.2680509	0.0011375
24	210	484	0.242	17749.29862	200	11.8314534	0.00121
25	220	520	0.26	17749.29862	200	12.394856	0.0013
26	230	550	0.275	17749.29862	200	12.9582585	0.001375
27	240	581	0.2905	17749.29862	200	13.5216611	0.0014525
28	250	620	0.31	17749.29862	200	14.0850636	0.00155
29	260	660	0.33	17749.29862	200	14.6484661	0.00165
30	270	700	0.35	17749.29862	200	15.2118687	0.00175
31	280	745	0.3725	17749.29862	200	15.7752712	0.0018625
32	290	810	0.405	17749.29862	200	16.3386738	0.002025
33	300	900	0.45	17749.29862	200	16.9020763	0.00225
34	310	971	0.4855	17749.29862	200	17.4654789	0.0024275
35	320	1060	0.53	17749.29862	200	18.0288814	0.00265
36	328	1150	0.575	17749.29862	200	18.4796034	0.002875

BENDA UJI				B10/7,5 3			
	Diameter	149.97	mm		Tegangan max	18.682	MPa
					40% T max	7.473	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ϵ
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17664.3908	200	0	0
2	10	5	0.0025	17664.3908	200	0.566110664	0.0000125
3	20	15	0.0075	17664.3908	200	1.132221327	0.0000375
4	28	20	0.01	17664.3908	200	1.585109858	0.00005
5	30	26	0.013	17664.3908	200	1.698331991	0.000065
6	40	36	0.018	17664.3908	200	2.264442655	0.00009
7	50	52	0.026	17664.3908	200	2.830553319	0.00013
8	60	65	0.0325	17664.3908	200	3.396663982	0.0001625
9	70	79	0.0395	17664.3908	200	3.962774646	0.0001975
10	80	97	0.0485	17664.3908	200	4.52888531	0.0002425
11	90	113	0.0565	17664.3908	200	5.094995974	0.0002825
12	100	134	0.067	17664.3908	200	5.661106637	0.000335
13	110	152	0.076	17664.3908	200	6.227217301	0.00038
14	120	171	0.0855	17664.3908	200	6.793327965	0.0004275
15	130	195	0.0975	17664.3908	200	7.359438628	0.0004875
16						7.47266	0.0004965
17	140	213	0.1065	17664.3908	200	7.925549292	0.0005325
18	150	235	0.1175	17664.3908	200	8.491659956	0.0005875
19	160	260	0.13	17664.3908	200	9.05777062	0.00065
20	170	282	0.141	17664.3908	200	9.623881283	0.000705
21	180	310	0.155	17664.3908	200	10.18999195	0.000775
22	190	332	0.166	17664.3908	200	10.75610261	0.00083
23	200	368	0.184	17664.3908	200	11.32221327	0.00092
24	210	391	0.1955	17664.3908	200	11.88832394	0.0009775
25	220	430	0.215	17664.3908	200	12.4544346	0.001075
26	230	466	0.233	17664.3908	200	13.02054527	0.001165
27	240	490	0.245	17664.3908	200	13.58665593	0.001225
28	250	520	0.26	17664.3908	200	14.15276659	0.0013
29	260	565	0.2825	17664.3908	200	14.71887726	0.0014125
30	270	610	0.305	17664.3908	200	15.28498792	0.001525
31	280	655	0.3275	17664.3908	200	15.85109858	0.0016375
32	290	714	0.357	17664.3908	200	16.41720925	0.001785
33	300	765	0.3825	17664.3908	200	16.98331991	0.0019125
34	310	843	0.4215	17664.3908	200	17.54943058	0.0021075
34	320	920	0.46	17664.3908	200	18.11554124	0.0023
34	330	1080	0.54	17664.3908	200	18.6816519	0.0027
35	338	1120	0.56	17664.3908	200	19.13454043	0.0028

BENDA UJI				B10/10 1			
	Diameter	150.58	mm		Tegangan max	17.127	MPa
					40% T max	6.851	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17808.38216	200	0	0
2	10	13	0.0065	17808.38216	200	0.56153332	0.0000325
3	18	20	0.01	17808.38216	200	1.01075998	0.00005
4	20	25	0.0125	17808.38216	200	1.12306664	0.0000625
5	30	39	0.0195	17808.38216	200	1.68459997	0.0000975
6	40	53	0.0265	17808.38216	200	2.24613329	0.0001325
7	50	68	0.034	17808.38216	200	2.80766661	0.00017
8	60	86	0.043	17808.38216	200	3.36919993	0.000215
9	70	99	0.0495	17808.38216	200	3.93073326	0.0002475
10	80	114	0.057	17808.38216	200	4.49226658	0.000285
11	90	130	0.065	17808.38216	200	5.0537999	0.000325
12	100	144	0.072	17808.38216	200	5.61533322	0.00036
13	110	160	0.08	17808.38216	200	6.17686654	0.0004
14	120	180	0.09	17808.38216	200	6.73839987	0.00045
15						6.85071	0.000461
16	130	202	0.101	17808.38216	200	7.29993319	0.000505
17	140	222	0.111	17808.38216	200	7.86146651	0.000555
18	150	243	0.1215	17808.38216	200	8.42299983	0.0006075
19	160	265	0.1325	17808.38216	200	8.98453316	0.0006625
20	170	286	0.143	17808.38216	200	9.54606648	0.000715
21	180	314	0.157	17808.38216	200	10.1075998	0.000785
22	190	340	0.17	17808.38216	200	10.6691331	0.00085
23	200	363	0.1815	17808.38216	200	11.2306664	0.0009075
24	210	390	0.195	17808.38216	200	11.7921998	0.000975
25	220	425	0.2125	17808.38216	200	12.3537331	0.0010625
26	230	454	0.227	17808.38216	200	12.9152664	0.001135
27	240	488	0.244	17808.38216	200	13.4767997	0.00122
28	250	520	0.26	17808.38216	200	14.0383331	0.0013
29	260	551	0.2755	17808.38216	200	14.5998664	0.0013775
30	270	591	0.2955	17808.38216	200	15.1613997	0.0014775
31	280	644	0.322	17808.38216	200	15.722933	0.00161
32	290	692	0.346	17808.38216	200	16.2844663	0.00173
33	300	791	0.3955	17808.38216	200	16.8459997	0.0019775
33	305	860	0.43	17808.38216	200	17.1267663	0.00215

BENDA UJI							
B10/10 2							
	Diameter	149.92	mm		Tegangan max	17.901	MPa
					40% T max	7.160	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17652.6141	200	0	0
2	10	15	0.0075	17652.6141	200	0.5664883	0.0000375
3	15	20	0.01	17652.6141	200	0.8497325	0.00005
4	20	27	0.0135	17652.6141	200	1.1329767	0.0000675
5	30	40	0.02	17652.6141	200	1.699465	0.0001
6	40	54	0.027	17652.6141	200	2.2659533	0.000135
7	50	72	0.036	17652.6141	200	2.8324417	0.00018
8	60	88	0.044	17652.6141	200	3.39893	0.00022
9	70	109	0.0545	17652.6141	200	3.9654183	0.0002725
10	80	124	0.062	17652.6141	200	4.5319067	0.00031
11	90	144	0.072	17652.6141	200	5.098395	0.00036
12	100	165	0.0825	17652.6141	200	5.6648834	0.0004125
13	110	183	0.0915	17652.6141	200	6.2313717	0.0004575
14	120	202	0.101	17652.6141	200	6.79786	0.000505
15						7.16041	0.0005418
16	130	225	0.1125	17652.6141	200	7.3643484	0.0005625
17	140	246	0.123	17652.6141	200	7.9308367	0.000615
18	150	274	0.137	17652.6141	200	8.497325	0.000685
19	160	300	0.15	17652.6141	200	9.0638134	0.00075
20	170	324	0.162	17652.6141	200	9.6303017	0.00081
21	180	352	0.176	17652.6141	200	10.19679	0.00088
22	190	375	0.1875	17652.6141	200	10.763278	0.0009375
23	200	403	0.2015	17652.6141	200	11.329767	0.0010075
24	210	431	0.2155	17652.6141	200	11.896255	0.0010775
25	220	461	0.2305	17652.6141	200	12.462743	0.0011525
26	230	498	0.249	17652.6141	200	13.029232	0.001245
27	240	539	0.2695	17652.6141	200	13.59572	0.0013475
28	250	582	0.291	17652.6141	200	14.162208	0.001455
29	260	625	0.3125	17652.6141	200	14.728697	0.0015625
30	270	671	0.3355	17652.6141	200	15.295185	0.0016775
31	280	734	0.367	17652.6141	200	15.861673	0.001835
32	290	790	0.395	17652.6141	200	16.428162	0.001975
33	300	860	0.43	17652.6141	200	16.99465	0.00215
34	310	960	0.48	17652.6141	200	17.561138	0.0024
35	316	1010	0.505	17652.6141	200	17.901031	0.002525

BENDA UJI				B10/10 3			
	Diameter	150.41	mm		Tegangan max	17.728	MPa
					40% T max	7.091	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17768.19468	200	0	0
2	10	15	0.0075	17768.19468	200	0.56280338	0.0000375
3	15	20	0.01	17768.19468	200	0.84420507	0.00005
4	20	26	0.013	17768.19468	200	1.12560676	0.000065
5	30	40	0.02	17768.19468	200	1.68841014	0.0001
6	40	54	0.027	17768.19468	200	2.25121352	0.000135
7	50	71	0.0355	17768.19468	200	2.81401689	0.0001775
8	60	86	0.043	17768.19468	200	3.37682027	0.000215
9	70	103	0.0515	17768.19468	200	3.93962365	0.0002575
10	80	119	0.0595	17768.19468	200	4.50242703	0.0002975
11	90	136	0.068	17768.19468	200	5.06523041	0.00034
12	100	153	0.0765	17768.19468	200	5.62803379	0.0003825
13	110	171	0.0855	17768.19468	200	6.19083717	0.0004275
14	120	191	0.0955	17768.19468	200	6.75364055	0.0004775
15						7.09132	0.0005075
16	130	211	0.1055	17768.19468	200	7.31644393	0.0005275
17	140	234	0.117	17768.19468	200	7.8792473	0.000585
18	150	255	0.1275	17768.19468	200	8.44205068	0.0006375
19	160	279	0.1395	17768.19468	200	9.00485406	0.0006975
20	170	304	0.152	17768.19468	200	9.56765744	0.00076
21	180	325	0.1625	17768.19468	200	10.1304608	0.0008125
22	190	351	0.1755	17768.19468	200	10.6932642	0.0008775
23	200	382	0.191	17768.19468	200	11.2560676	0.000955
24	210	410	0.205	17768.19468	200	11.818871	0.001025
25	220	439	0.2195	17768.19468	200	12.3816743	0.0010975
26	230	474	0.237	17768.19468	200	12.9444777	0.001185
27	240	510	0.255	17768.19468	200	13.5072811	0.001275
28	250	548	0.274	17768.19468	200	14.0700845	0.00137
29	260	590	0.295	17768.19468	200	14.6328879	0.001475
30	270	641	0.3205	17768.19468	200	15.1956912	0.0016025
31	280	695	0.3475	17768.19468	200	15.7584946	0.0017375
32	290	745	0.3725	17768.19468	200	16.321298	0.0018625
33	300	826	0.413	17768.19468	200	16.8841014	0.002065
34	310	899	0.4495	17768.19468	200	17.4469047	0.0022475
35	315	986	0.493	17768.19468	200	17.7283064	0.002465
36	310	1030	0.515	17768.19468	200	17.4469047	0.002575

BENDA UJI				B10/12,5 1			
	Diameter	150.53	mm		Tegangan max	11.407	MPa
					40% T max	4.563	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17796.5576	200	0	0
2	10	19	0.0095	17796.5576	200	0.5619064	0.0000475
3	11	20	0.01	17796.5576	200	0.6180971	0.00005
4	20	40	0.02	17796.5576	200	1.1238128	0.0001
5	30	62	0.031	17796.5576	200	1.6857193	0.000155
6	40	82	0.041	17796.5576	200	2.2476257	0.000205
7	50	101	0.0505	17796.5576	200	2.8095321	0.0002525
8	60	123	0.0615	17796.5576	200	3.3714385	0.0003075
9	70	146	0.073	17796.5576	200	3.933345	0.000365
10						4.56268	0.0004322
11	80	170	0.085	17796.5576	200	4.4952514	0.000425
12	90	197	0.0985	17796.5576	200	5.0571578	0.0004925
13	100	218	0.109	17796.5576	200	5.6190642	0.000545
14	110	239	0.1195	17796.5576	200	6.1809706	0.0005975
15	120	259	0.1295	17796.5576	200	6.7428771	0.0006475
16	130	283	0.1415	17796.5576	200	7.3047835	0.0007075
17	140	310	0.155	17796.5576	200	7.8666899	0.000775
18	150	335	0.1675	17796.5576	200	8.4285963	0.0008375
19	160	360	0.18	17796.5576	200	8.9905027	0.0009
20	170	391	0.1955	17796.5576	200	9.5524092	0.0009775
21	180	429	0.2145	17796.5576	200	10.114316	0.0010725
22	190	473	0.2365	17796.5576	200	10.676222	0.0011825
23	200	540	0.27	17796.5576	200	11.238128	0.00135
24	203	598	0.299	17796.5576	200	11.4067	0.001495
25	200	688	0.344	17796.5576	200	11.238128	0.00172

BENDA UJI				B10/12.5 2			
	Diameter	150.30	mm		Tegangan max	17.472	MPa
					40% T max	6.989	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17742.2152	200	0	0
2	10	15	0.0075	17742.2152	200	0.56362748	3.75E-05
3	14	20	0.01	17742.2152	200	0.78907847	0.00005
4	20	30	0.015	17742.2152	200	1.12725496	0.000075
5	30	46	0.023	17742.2152	200	1.69088243	0.000115
6	40	61	0.0305	17742.2152	200	2.25450991	0.000153
7	50	76	0.038	17742.2152	200	2.81813739	0.00019
8	60	92	0.046	17742.2152	200	3.38176487	0.00023
9	70	108	0.054	17742.2152	200	3.94539234	0.00027
10	80	124	0.062	17742.2152	200	4.50901982	0.00031
11	90	142	0.071	17742.2152	200	5.0726473	0.000355
12	100	162	0.081	17742.2152	200	5.63627478	0.000405
14	110	180	0.09	17742.2152	200	6.19990225	0.00045
15	6.98898						0.000504
16	120	198	0.099	17742.2152	200	6.76352973	0.000495
17	130	220	0.11	17742.2152	200	7.32715721	0.00055
18	140	240	0.12	17742.2152	200	7.89078469	0.0006
19	150	261	0.1305	17742.2152	200	8.45441217	0.000653
20	160	289	0.1445	17742.2152	200	9.01803964	0.000723
21	170	311	0.1555	17742.2152	200	9.58166712	0.000778
22	180	339	0.1695	17742.2152	200	10.1452946	0.000848
23	190	360	0.18	17742.2152	200	10.7089221	0.0009
24	200	395	0.1975	17742.2152	200	11.2725496	0.000988
25	210	415	0.2075	17742.2152	200	11.836177	0.001038
26	220	445	0.2225	17742.2152	200	12.3998045	0.001113
27	230	478	0.239	17742.2152	200	12.963432	0.001195
28	240	502	0.251	17742.2152	200	13.5270595	0.001255
29	250	545	0.2725	17742.2152	200	14.0906869	0.001363
30	260	585	0.2925	17742.2152	200	14.6543144	0.001463
31	270	640	0.32	17742.2152	200	15.2179419	0.0016
32	280	700	0.35	17742.2152	200	15.7815694	0.00175
33	290	759	0.3795	17742.2152	200	16.3451969	0.001898
34	300	845	0.4225	17742.2152	200	16.9088243	0.002113
35	310	955	0.4775	17742.2152	200	17.4724518	0.002388
36	300	1020	0.51	17742.2152	200	16.9088243	0.00255

BENDA UJI				B12,5/7.5 1			
	Diameter	150.78	mm		Tegangan max	15.121	MPa
					40% T max	6.048	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ϵ
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17855.71968	200	0	0
2	10	6	0.003	17855.71968	200	0.56004463	0.000015
3	20	13	0.0065	17855.71968	200	1.12008927	0.0000325
4	30	20	0.01	17855.71968	200	1.6801339	0.00005
5	40	32	0.016	17855.71968	200	2.24017854	0.00008
6	50	44	0.022	17855.71968	200	2.80022317	0.00011
7	60	56	0.028	17855.71968	200	3.36026781	0.00014
8	70	66	0.033	17855.71968	200	3.92031244	0.000165
9	80	78	0.039	17855.71968	200	4.48035707	0.000195
10	90	93	0.0465	17855.71968	200	5.04040171	0.0002325
11	100	105	0.0525	17855.71968	200	5.60044634	0.0002625
12	110	120	0.06	17855.71968	200	6.16049098	0.0003
13						6.04848	0.00029
14	120	140	0.07	17855.71968	200	6.72053561	0.00035
15	130	158	0.079	17855.71968	200	7.28058025	0.000395
16	140	174	0.087	17855.71968	200	7.84062488	0.000435
17	150	195	0.0975	17855.71968	200	8.40066951	0.0004875
18	160	216	0.108	17855.71968	200	8.96071415	0.00054
19	170	246	0.123	17855.71968	200	9.52075878	0.000615
20	180	270	0.135	17855.71968	200	10.0808034	0.000675
21	190	305	0.1525	17855.71968	200	10.6408481	0.0007625
22	200	348	0.174	17855.71968	200	11.2008927	0.00087
23	210	380	0.19	17855.71968	200	11.7609373	0.00095
24	220	415	0.2075	17855.71968	200	12.320982	0.0010375
25	230	468	0.234	17855.71968	200	12.8810266	0.00117
26	240	514	0.257	17855.71968	200	13.4410712	0.001285
27	250	590	0.295	17855.71968	200	14.0011159	0.001475
28	260	651	0.3255	17855.71968	200	14.5611605	0.0016275
29	270	740	0.37	17855.71968	200	15.1212051	0.00185
30	281	830	0.415	17855.71968	200	15.7372542	0.002075
31	275	920	0.46	17855.71968	200	15.4012274	0.0023

BENDA UJI				B12,5/7.5 2			
	Diameter	150.18	mm		Tegangan max	13.887	MPa
					40% T max	5.555	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17714.6033	200	0	0
2	10	8	0.004	17714.6033	200	0.564506	0.00002
3	20	16	0.008	17714.6033	200	1.129012	0.00004
4	28	20	0.01	17714.6033	200	1.5806168	0.00005
5	30	24	0.012	17714.6033	200	1.693518	0.00006
6	40	36	0.018	17714.6033	200	2.258024	0.00009
7	50	44	0.022	17714.6033	200	2.82253	0.00011
8	60	55	0.0275	17714.6033	200	3.387036	0.0001375
9	70	68	0.034	17714.6033	200	3.9515421	0.00017
10	80	83	0.0415	17714.6033	200	4.5160481	0.0002075
11	90	94	0.047	17714.6033	200	5.0805541	0.000235
12						5.55474	0.0002581
13	100	105	0.0525	17714.6033	200	5.6450601	0.0002625
14	110	123	0.0615	17714.6033	200	6.2095661	0.0003075
15	120	140	0.07	17714.6033	200	6.7740721	0.00035
16	130	155	0.0775	17714.6033	200	7.3385781	0.0003875
17	140	173	0.0865	17714.6033	200	7.9030841	0.0004325
18	150	196	0.098	17714.6033	200	8.4675901	0.00049
19	160	215	0.1075	17714.6033	200	9.0320961	0.0005375
20	170	242	0.121	17714.6033	200	9.5966021	0.000605
21	180	270	0.135	17714.6033	200	10.161108	0.000675
22	190	308	0.154	17714.6033	200	10.725614	0.00077
23	200	350	0.175	17714.6033	200	11.29012	0.000875
24	210	398	0.199	17714.6033	200	11.854626	0.000995
25	220	436	0.218	17714.6033	200	12.419132	0.00109
26	230	505	0.2525	17714.6033	200	12.983638	0.0012625
27	240	600	0.3	17714.6033	200	13.548144	0.0015
28	246	730	0.365	17714.6033	200	13.886848	0.001825
29	240	779	0.3895	17714.6033	200	13.548144	0.0019475

BENDA UJI				B12,5/7,5 3			
	Diameter	149.85	mm		Tegangan max	18.712	MPa
					40% T max	7.485	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ϵ
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17636.13343	200	0	0
2	10	15	0.0075	17636.13343	200	0.56701771	0.0000375
3	14	20	0.01	17636.13343	200	0.79382479	0.00005
4	20	28	0.014	17636.13343	200	1.13403542	0.00007
5	30	37	0.0185	17636.13343	200	1.70105313	0.0000925
6	40	50	0.025	17636.13343	200	2.26807084	0.000125
7	50	61	0.0305	17636.13343	200	2.83508855	0.0001525
8	60	74	0.037	17636.13343	200	3.40210626	0.000185
9	70	85	0.0425	17636.13343	200	3.96912397	0.0002125
10	80	96	0.048	17636.13343	200	4.53614168	0.00024
11	90	109	0.0545	17636.13343	200	5.10315939	0.0002725
12	100	121	0.0605	17636.13343	200	5.67017711	0.0003025
13	110	134	0.067	17636.13343	200	6.23719482	0.000335
14	120	152	0.076	17636.13343	200	6.80421253	0.00038
15	130	164	0.082	17636.13343	200	7.37123024	0.00041
16						7.48463	0.0004155
17	140	175	0.0875	17636.13343	200	7.93824795	0.0004375
18	150	190	0.095	17636.13343	200	8.50526566	0.000475
19	160	204	0.102	17636.13343	200	9.07228337	0.00051
20	170	218	0.109	17636.13343	200	9.63930108	0.000545
21	180	238	0.119	17636.13343	200	10.2063188	0.000595
22	190	258	0.129	17636.13343	200	10.7733365	0.000645
23	200	278	0.139	17636.13343	200	11.3403542	0.000695
24	210	296	0.148	17636.13343	200	11.9073719	0.00074
25	220	314	0.157	17636.13343	200	12.4743896	0.000785
26	230	334	0.167	17636.13343	200	13.0414073	0.000835
27	240	363	0.1815	17636.13343	200	13.6084251	0.0009075
28	250	390	0.195	17636.13343	200	14.1754428	0.000975
29	260	415	0.2075	17636.13343	200	14.7424605	0.0010375
30	270	441	0.2205	17636.13343	200	15.3094782	0.0011025
31	280	475	0.2375	17636.13343	200	15.8764959	0.0011875
32	290	510	0.255	17636.13343	200	16.4435136	0.001275
33	300	568	0.284	17636.13343	200	17.0105313	0.00142
34	310	612	0.306	17636.13343	200	17.577549	0.00153
35	320	650	0.325	17636.13343	200	18.1445667	0.001625
36	330	715	0.3575	17636.13343	200	18.7115844	0.0017875
37	335	752	0.376	17636.13343	200	18.9950933	0.00188
38	330	780	0.39	17636.13343	200	18.7115844	0.00195

BENDA UJI				B12,5/10 1			
	Diameter	150.98	mm		Tegangan max	17.315	MPa
					40% T max	6.926	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17903.12003	200	0	0
2	10	11	0.0055	17903.12003	200	0.5585619	0.0000275
3	15	20	0.01	17903.12003	200	0.8378428	0.00005
4	20	24	0.012	17903.12003	200	1.1171237	0.00006
5	30	39	0.0195	17903.12003	200	1.6756856	0.0000975
6	40	53	0.0265	17903.12003	200	2.2342474	0.0001325
7	50	66	0.033	17903.12003	200	2.7928093	0.000165
8	60	83	0.0415	17903.12003	200	3.3513712	0.0002075
9	70	101	0.0505	17903.12003	200	3.909933	0.0002525
10	80	119	0.0595	17903.12003	200	4.4684949	0.0002975
11	90	136	0.068	17903.12003	200	5.0270567	0.00034
12	100	150	0.075	17903.12003	200	5.5856186	0.000375
13	110	164	0.082	17903.12003	200	6.1441804	0.00041
14	120	184	0.092	17903.12003	200	6.7027423	0.00046
15						6.92617	0.000476
16	130	200	0.1	17903.12003	200	7.2613042	0.0005
17	140	221	0.1105	17903.12003	200	7.819866	0.0005525
18	150	239	0.1195	17903.12003	200	8.3784279	0.0005975
19	160	260	0.13	17903.12003	200	8.9369897	0.00065
20	170	281	0.1405	17903.12003	200	9.4955516	0.0007025
21	180	300	0.15	17903.12003	200	10.054113	0.00075
22	190	320	0.16	17903.12003	200	10.612675	0.0008
23	200	338	0.169	17903.12003	200	11.171237	0.000845
24	210	358	0.179	17903.12003	200	11.729799	0.000895
25	220	379	0.1895	17903.12003	200	12.288361	0.0009475
26	230	395	0.1975	17903.12003	200	12.846923	0.0009875
27	240	417	0.2085	17903.12003	200	13.405485	0.0010425
28	250	442	0.221	17903.12003	200	13.964046	0.001105
29	260	470	0.235	17903.12003	200	14.522608	0.001175
30	270	497	0.2485	17903.12003	200	15.08117	0.0012425
31	280	527	0.2635	17903.12003	200	15.639732	0.0013175
32	290	543	0.2715	17903.12003	200	16.198294	0.0013575
33	300	575	0.2875	17903.12003	200	16.756856	0.0014375
34	310	615	0.3075	17903.12003	200	17.315418	0.0015375
35	315	721	0.3605	17903.12003	200	17.594699	0.0018025

BENDA UJI				B12,5/10 2			
	Diameter	150.43	mm		Tegangan max	18.568	MPa
					40% T max	7.427	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17772.9203	200	0	0
2	10	13	0.0065	17772.9203	200	0.5626537	0.0000325
	13	20	0.01	17772.9203	200	0.7314499	0.00005
3	20	24	0.012	17772.9203	200	1.1253075	0.00006
4	30	36	0.018	17772.9203	200	1.6879612	0.00009
5	40	49	0.0245	17772.9203	200	2.2506149	0.0001225
6	50	64	0.032	17772.9203	200	2.8132687	0.00016
7	60	81	0.0405	17772.9203	200	3.3759224	0.0002025
8	70	94	0.047	17772.9203	200	3.9385762	0.000235
9	80	111	0.0555	17772.9203	200	4.5012299	0.0002775
10	90	125	0.0625	17772.9203	200	5.0638836	0.0003125
11	100	145	0.0725	17772.9203	200	5.6265374	0.0003625
12	110	164	0.082	17772.9203	200	6.1891911	0.00041
13	120	184	0.092	17772.9203	200	6.7518448	0.00046
14	130	202	0.101	17772.9203	200	7.3144986	0.000505
15						7.42703	0.000513
16	140	218	0.109	17772.9203	200	7.8771523	0.000545
17	150	238	0.119	17772.9203	200	8.4398061	0.000595
18	160	264	0.132	17772.9203	200	9.0024598	0.00066
19	170	283	0.1415	17772.9203	200	9.5651135	0.0007075
20	180	308	0.154	17772.9203	200	10.127767	0.00077
21	190	331	0.1655	17772.9203	200	10.690421	0.0008275
22	200	356	0.178	17772.9203	200	11.253075	0.00089
23	210	375	0.1875	17772.9203	200	11.815728	0.0009375
24	220	405	0.2025	17772.9203	200	12.378382	0.0010125
25	230	428	0.214	17772.9203	200	12.941036	0.00107
26	240	444	0.222	17772.9203	200	13.50369	0.00111
27	250	468	0.234	17772.9203	200	14.066343	0.00117
28	260	496	0.248	17772.9203	200	14.628997	0.00124
29	270	524	0.262	17772.9203	200	15.191651	0.00131
30	280	548	0.274	17772.9203	200	15.754305	0.00137
31	290	585	0.2925	17772.9203	200	16.316958	0.0014625
32	300	612	0.306	17772.9203	200	16.879612	0.00153
33	310	680	0.34	17772.9203	200	17.442266	0.0017
34	320	710	0.355	17772.9203	200	18.00492	0.001775
35	330	798	0.399	17772.9203	200	18.567573	0.001995

BENDA UJI				B12,5/10 3			
	Diameter	150.08	mm		Tegangan max	16.675	MPa
					40% T max	6.670	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17691.0205	200	0	0
2	10	5	0.0025	17691.0205	200	0.565258516	0.0000125
3	20	16	0.008	17691.0205	200	1.130517033	0.00004
4	28	20	0.01	17691.0205	200	1.582723846	0.00005
5	30	27	0.0135	17691.0205	200	1.695775549	0.0000675
6	40	34	0.017	17691.0205	200	2.261034065	0.000085
7	50	43	0.0215	17691.0205	200	2.826292581	0.0001075
8	60	56	0.028	17691.0205	200	3.391551098	0.00014
9	70	69	0.0345	17691.0205	200	3.956809614	0.0001725
10	80	73	0.0365	17691.0205	200	4.52206813	0.0001825
11	90	90	0.045	17691.0205	200	5.087326646	0.000225
12	100	101	0.0505	17691.0205	200	5.652585163	0.0002525
13	110	109	0.0545	17691.0205	200	6.217843679	0.0002725
14						6.67005	0.0003025
15	120	124	0.062	17691.0205	200	6.783102195	0.00031
16	130	145	0.0725	17691.0205	200	7.348360712	0.0003625
17	140	164	0.082	17691.0205	200	7.913619228	0.00041
18	150	185	0.0925	17691.0205	200	8.478877744	0.0004625
19	160	203	0.1015	17691.0205	200	9.04413626	0.0005075
20	170	224	0.112	17691.0205	200	9.609394777	0.00056
21	180	250	0.125	17691.0205	200	10.17465329	0.000625
22	190	275	0.1375	17691.0205	200	10.73991181	0.0006875
23	200	310	0.155	17691.0205	200	11.30517033	0.000775
24	210	348	0.174	17691.0205	200	11.87042884	0.00087
25	220	382	0.191	17691.0205	200	12.43568736	0.000955
26	230	417	0.2085	17691.0205	200	13.00094587	0.0010425
27	240	459	0.2295	17691.0205	200	13.56620439	0.0011475
28	250	490	0.245	17691.0205	200	14.13146291	0.001225
29	260	548	0.274	17691.0205	200	14.69672142	0.00137
30	270	594	0.297	17691.0205	200	15.26197994	0.001485
31	280	698	0.349	17691.0205	200	15.82723846	0.001745
32	290	747	0.3735	17691.0205	200	16.39249697	0.0018675
33	295	827	0.4135	17691.0205	200	16.67512623	0.0020675
34	290	998	0.499	17691.0205	200	16.39249697	0.002495

BENDA UJI				B12,5/12,5 1			
	Diameter	150.27	mm		Tegangan max	14.942	MPa
					40% T max	5.977	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17735.13318	200	0	0
2	10	9	0.0045	17735.13318	200	0.5638525	0.0000225
3	16	20	0.01	17735.13318	200	0.9021641	0.00005
4	20	24	0.012	17735.13318	200	1.1277051	0.00006
5	30	36	0.018	17735.13318	200	1.6915576	0.00009
6	40	55	0.0275	17735.13318	200	2.2554102	0.0001375
7	50	74	0.037	17735.13318	200	2.8192627	0.000185
8	60	90	0.045	17735.13318	200	3.3831153	0.000225
9	70	111	0.0555	17735.13318	200	3.9469678	0.0002775
10	80	139	0.0695	17735.13318	200	4.5108204	0.0003475
11	90	161	0.0805	17735.13318	200	5.0746729	0.0004025
12	100	184	0.092	17735.13318	200	5.6385255	0.00046
13						5.97684	0.0004915
13	110	205	0.1025	17735.13318	200	6.202378	0.0005125
14	120	232	0.116	17735.13318	200	6.7662306	0.00058
15	130	266	0.133	17735.13318	200	7.3300831	0.000665
16	140	300	0.15	17735.13318	200	7.8939356	0.00075
17	150	330	0.165	17735.13318	200	8.4577882	0.000825
18	160	355	0.1775	17735.13318	200	9.0216407	0.0008875
19	170	381	0.1905	17735.13318	200	9.5854933	0.0009525
20	180	420	0.21	17735.13318	200	10.149346	0.00105
21	190	468	0.234	17735.13318	200	10.713198	0.00117
22	200	515	0.2575	17735.13318	200	11.277051	0.0012875
23	210	560	0.28	17735.13318	200	11.840903	0.0014
24	220	638	0.319	17735.13318	200	12.404756	0.001595
25	230	690	0.345	17735.13318	200	12.968609	0.001725
26	240	760	0.38	17735.13318	200	13.532461	0.0019
27	250	838	0.419	17735.13318	200	14.096314	0.002095
28	260	940	0.47	17735.13318	200	14.660166	0.00235
29	265	985	0.4925	17735.13318	200	14.942092	0.0024625

BENDA UJI				B12,5/12,5 2			
	Diameter	150.92	mm		Tegangan max	15.037	MPa
					40% T max	6.015	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17888.8933	200	0	0
2	10	17	0.0085	17888.8933	200	0.55900607	0.0000425
3	15	20	0.01	17888.8933	200	0.83850911	0.00005
4	20	30	0.015	17888.8933	200	1.11801214	0.000075
5	30	46	0.023	17888.8933	200	1.67701822	0.000115
6	40	63	0.0315	17888.8933	200	2.23602429	0.0001575
7	50	80	0.04	17888.8933	200	2.79503036	0.0002
8	60	98	0.049	17888.8933	200	3.35403643	0.000245
9	70	120	0.06	17888.8933	200	3.91304251	0.0003
10	80	140	0.07	17888.8933	200	4.47204858	0.00035
11	90	163	0.0815	17888.8933	200	5.03105465	0.0004075
12	100	183	0.0915	17888.8933	200	5.59006072	0.0004575
13						6.01491	0.0004993
14	110	205	0.1025	17888.8933	200	6.1490668	0.0005125
15	120	234	0.117	17888.8933	200	6.70807287	0.000585
16	130	257	0.1285	17888.8933	200	7.26707894	0.0006425
17	140	282	0.141	17888.8933	200	7.82608501	0.000705
18	150	310	0.155	17888.8933	200	8.38509109	0.000775
19	160	342	0.171	17888.8933	200	8.94409716	0.000855
20	170	366	0.183	17888.8933	200	9.50310323	0.000915
21	180	399	0.1995	17888.8933	200	10.0621093	0.0009975
22	190	421	0.2105	17888.8933	200	10.6211154	0.0010525
23	200	464	0.232	17888.8933	200	11.1801214	0.00116
24	210	498	0.249	17888.8933	200	11.7391275	0.001245
25	220	550	0.275	17888.8933	200	12.2981336	0.001375
26	230	590	0.295	17888.8933	200	12.8571397	0.001475
27	240	625	0.3125	17888.8933	200	13.4161457	0.0015625
28	250	698	0.349	17888.8933	200	13.9751518	0.001745
29	260	750	0.375	17888.8933	200	14.5341579	0.001875
30	269	890	0.445	17888.8933	200	15.0372633	0.002225

BENDA UJI				B12,5/12,5 3			
	Diameter	150.27	mm		Tegangan max	18.720	MPa
					40% T max	7.488	MPa
No.	Beban	Pembacaan	ΔL	A_0	L_0	τ	ε
	(KN)	Dial	x 0,001 (mm)	(mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	
1	0	0	0	17735.13318	200	0	0
2	8	20	0.01	17735.13318	200	0.451082037	0.00005
3	10	22	0.011	17735.13318	200	0.563852546	0.000055
4	20	35	0.0175	17735.13318	200	1.127705092	0.0000875
5	30	51	0.0255	17735.13318	200	1.691557638	0.0001275
6	40	70	0.035	17735.13318	200	2.255410184	0.000175
7	50	95	0.0475	17735.13318	200	2.81926273	0.0002375
8	60	115	0.0575	17735.13318	200	3.383115276	0.0002875
9	70	142	0.071	17735.13318	200	3.946967822	0.000355
10	80	155	0.0775	17735.13318	200	4.510820368	0.0003875
11	90	180	0.09	17735.13318	200	5.074672915	0.00045
12	100	205	0.1025	17735.13318	200	5.638525461	0.0005125
13	110	224	0.112	17735.13318	200	6.202378007	0.00056
14	120	244	0.122	17735.13318	200	6.766230553	0.00061
15	130	270	0.135	17735.13318	200	7.330083099	0.000675
16						7.48796	0.0006925
17	140	295	0.1475	17735.13318	200	7.893935645	0.0007375
18	150	325	0.1625	17735.13318	200	8.457788191	0.0008125
19	160	355	0.1775	17735.13318	200	9.021640737	0.0008875
20	170	375	0.1875	17735.13318	200	9.585493283	0.0009375
21	180	405	0.2025	17735.13318	200	10.14934583	0.0010125
22	190	430	0.215	17735.13318	200	10.71319838	0.001075
23	200	460	0.23	17735.13318	200	11.27705092	0.00115
24	210	490	0.245	17735.13318	200	11.84090347	0.001225
25	220	520	0.26	17735.13318	200	12.40475601	0.0013
26	230	557	0.2785	17735.13318	200	12.96860856	0.0013925
27	240	596	0.298	17735.13318	200	13.53246111	0.00149
28	250	631	0.3155	17735.13318	200	14.09631365	0.0015775
29	260	669	0.3345	17735.13318	200	14.6601662	0.0016725
30	270	717	0.3585	17735.13318	200	15.22401874	0.0017925
31	280	760	0.38	17735.13318	200	15.78787129	0.0019
32	290	810	0.405	17735.13318	200	16.35172384	0.002025
33	300	880	0.44	17735.13318	200	16.91557638	0.0022
34	310	955	0.4775	17735.13318	200	17.47942893	0.0023875
35	320	1055	0.5275	17735.13318	200	18.04328147	0.0026375
36	330	1105	0.5525	17735.13318	200	18.60713402	0.0027625
37	332	1210	0.605	17735.13318	200	18.71990453	0.003025