

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN *CARBON FIBER
REINFORCED POLYMER* SEBAGAI BAHAN
PENGGANTI BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT
LENTUR BETON
(*THE EFFECT OF CARBON FIBER REINFORCED
POLYMER AS THE REPLACEMENT OF REINFORCING
STEEL ON CONCRETE FLEXURAL STRENGTH*)**

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



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

**Amartya Rizki Ananda
16511088**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN *CARBON FIBER*
REINFORCED POLYMER SEBAGAI BAHAN
PENGANTI BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT
LENTUR BETON
(*THE EFFECT OF CARBON FIBER REINFORCED
POLYMER AS THE REPLACEMENT OF
REINFORCING STEEL ON CONCRETE FLEXURAL
STRENGTH*)**

Disusun oleh

**Amartya Rizki Ananda
16511088**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

**Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji**

Pembimbing I


Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.
NIP : 885110105

Pembimbing II


Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
NIP : 155111305

Penguji I


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

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIP : 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 dari 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 adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



Amartya Rizki Ananda

(16511088)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer Sebagai Bahan Pengganti Baja Tulangan Terhadap Kuat Lentur Beton*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, M.T. selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II,
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji I,
4. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu kepada saya, semoga kelak saya dapat mengaplikasikan ilmu dari bapak dan ibu semua di kehidupan mendatang. Tak lupa pula, bapak, ibu, dan mbak staff Program Studi Teknik Sipil dan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan yang telah membantu saya dalam mengurus segala sesuatu terkait masa perkuliahan selama ini,
5. Keluarga penulis yaitu Papa, Mama, Mbah, dan adik-adik penulis yang telah berkorban banyak baik materiil maupun spiritual yang menjadikan motivasi terbesar saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir sesegera mungkin,
6. Annisaa Yumna, Liana Hayumi, Rhesnu Prayogya, Tranggono Aji, Naufal Kadarusman, Bangkit Aryoputro, Anas Hoga, Ananda Bagus, Muhammad Aulia, Bagas Permana, Adhyatma Dwi, Kiko Wecha, dan Achmad Fauzi

selaku teman Ahsan x Awrekeh yang senantiasa berjuang bersama sejak semester pertama hingga saat ini,

7. Yusnanda Evin selaku partner saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yang senantiasa membantu dan bekerja sama dengan baik demi kelancaran penelitian yang dilakukan,
8. Ganang Bintang, Faisal Budiman, Yoga Pratama, Ammar Ramadhan, Yudi Hasbi, Mutia Ayu, Mahendra Eka, dan teman-teman lainnya yang telah membantu dalam proses pembuatan balok beton untuk penelitian ini,
9. SeokJin Kim, Yoongi Min, HoSeok Jung, NamJoon Kim, JiMin Park, TaeHyung Kim, dan JungKook Jeon selaku sahabat yang telah menghibur, memberikan semangat, dan tetap setia menemani agar dapat melaksanakan proses penelitian dan membuat Laporan Tugas Akhir dengan baik dan lancar,
10. Serta teman-teman penulis yang telah turut andil dalam proses pengerjaan Tugas Akhir yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Akhirnya, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Agustus 2021

Penulis,

Amartya Rizki Ananda

16511088

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Umum	6
2.1.1 Beton	6
2.1.2 Beton Bertulang	7
2.1.3 <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i>	7
2.2 Penelitian Terdahulu	8
2.3 Keaslian Penelitian	14
BAB III LANDASAN TEORI	17
3.1 Beton Bertulang	17
3.1.1 Beton	17

3.1.2 Baja Tulangan	21
3.2 <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i>	24
3.3 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	27
3.4 Tegangan Lekatan	32
3.5 Berat Volume Beton	34
3.6 Kuat Lentur Beton	35
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	42
4.1 Tinjauan Umum	42
4.2 Variabel Penelitian	42
4.3 Teknik Pengumpulan Data	42
4.4 Bahan-Bahan yang Digunakan	43
4.5 Peralatan Penelitian	44
4.6 Tahapan Penelitian	44
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	54
5.1 Pengujian Material	54
5.1.1 Pengujian Agregat Halus	54
5.1.2 Pengujian Agregat Kasar	57
5.1.3 Pengujian Baja	59
5.1.4 Pengujian <i>Carbon Fiber</i>	62
5.1.5 Pengujian Resin (<i>Epoxy</i>)	70
5.1.6 Pengujian CFRP	72
5.2 Perhitungan Percobaan Rencana Campuran Beton (<i>Trial Mix Design</i>)	76
5.3 Analisis Data <i>Trial Mix Design</i>	81
5.4 Perhitungan Rencana Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	83
5.5 Perhitungan Rencana Tulangan	86
5.6 Analisis Data Pengujian Utama	88
5.6.1 Lekatan CFRP Terhadap Beton	88
5.6.2 Berat Volume	90

5.6.3 Kuat Lentur	92
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	98
6.1 Kesimpulan	98
6.2 Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	xv
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian	15
Tabel 3.1	Ketentuan Ukuran Spesimen	26
Tabel 3.2	Faktor Pengali Deviasi Standar	28
Tabel 3.3	Perkiraan Kekuatan Tekan	28
Tabel 3.4	Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m ³)	30
Tabel 3.5	Persyaratan Minimum Jumlah Semen dan Nilai FAS Maksimum	30
Tabel 3.6	Klasifikasi Beton Berdasarkan Berat Volume	34
Tabel 5.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	54
Tabel 5.2	Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus	55
Tabel 5.3	Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus	56
Tabel 5.4	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	57
Tabel 5.5	Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar	58
Tabel 5.6	Pengujian Tarik Baja P6	60
Tabel 5.7	Pengujian Tarik Baja P10	61
Tabel 5.8	Pengujian Tarik <i>Carbon Fiber Trial IV</i>	69
Tabel 5.9	Pengujian Tarik Resin	71
Tabel 5.10	Pengujian Tarik CFRP	73
Tabel 5.11	Pengujian <i>Trial Mix Design</i>	82
Tabel 5.12	Pengujian <i>Pull Out</i>	89
Tabel 5.13	Berat Volume Balok Beton	91
Tabel 5.14	Kuat Lentur Balok Beton	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Lembaran</i>	8
Gambar 2.2	Beton Bertulang Baja (Tipe 1)	9
Gambar 2.3	Beton Bertulang CFRP (Tipe 2 dan Tipe 3)	9
Gambar 2.4	Beton dengan CFRP di Daerah Tekan (Tipe 1)	10
Gambar 2.5	Beton dengan CFRP di Daerah Geser (Tipe 2)	10
Gambar 2.6	Beton Kontrol dengan Tulangan Baja (Tipe 3)	11
Gambar 2.7	Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP	13
Gambar 2.8	Beton Bertulang dengan Perkuatan GFRP	13
Gambar 3.1	Potongan Beton	18
Gambar 3.2	Hubungan Tegangan dan Regangan Tekan Beton	19
Gambar 3.3	Hubungan Tegangan dan Regangan Tarik Beton	20
Gambar 3.4	Kurva Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ϵ)	22
Gambar 3.5	Bagian Kurva Tegangan-Regangan yang Diperbesar	23
Gambar 3.6	Ketentuan Ukuran Spesimen	26
Gambar 3.7	Ukuran Spesimen CFRP Uji	27
Gambar 3.8	Grafik Tegangan-Regangan CFRP	27
Gambar 3.9	Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	29
Gambar 3.11	Grafik Presentase Agregat Halus	31
Gambar 3.12	Grafik Berat Isi Beton	31
Gambar 3.13	Tegangan Lekatan Penanaman Tarik	34
Gambar 3.14	Distribusi Regangan dan Tegangan Pada Balok Tulangan Tunggal	35
Gambar 3.15	Pembebanan Benda Uji Balok Beton	39
Gambar 3.16	<i>Bending Moment Diagram</i> dari Gaya Akibat Beban Sendiri	39
Gambar 3.17	<i>Bending Moment Diagram</i> dari Gaya Akibat Beban Sendiri	40

Gambar 3.18 <i>Free Body Diagram</i> dari Gaya Akibat Pengujian	40
Gambar 4.1 Benda Uji Kubus	47
Gambar 4.2 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Kontrol (BK)	48
Gambar 4.3 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Variasi I (BVI)	48
Gambar 4.4 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Variasi II (BVII)	49
Gambar 4.5 <i>Flow Chart</i> Tahapan Penelitian	52
Gambar 5.1 Grafik Analisis Saringan Agregat Halus	56
Gambar 5.2 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar	58
Gambar 5.3 Grafik Beban dan Deformasi Baja P6	59
Gambar 5.4 Grafik Beban dan Deformasi Baja P10	61
Gambar 5.5 <i>Carbon Fiber</i> yang Digulung	63
Gambar 5.6 <i>Carbon Fiber</i> yang Diuji Tarik	63
Gambar 5.7 <i>Carbon Fiber Trial I</i> Setelah Diuji	64
Gambar 5.8 Grafik Beban dan Deformasi <i>Carbon Fiber Trial I</i>	64
Gambar 5.9 Benda Uji <i>Carbon Fiber Trial II</i>	65
Gambar 5.10 Grafik Beban dan Deformasi <i>Carbon Fiber Trial II</i>	65
Gambar 5.11 Benda Uji <i>Carbon Fiber Trial III</i>	66
Gambar 5.12 Grafik Beban dan Deformasi <i>Carbon Fiber Trial III</i>	66
Gambar 5.13 <i>Carbon Fiber Trial III</i> Setelah Diuji	67
Gambar 5.14 Benda Uji <i>Carbon Fiber Trial IV</i> Sebelum Digulung	67
Gambar 5.15 Benda Uji <i>Carbon Fiber Trial IV</i> Setelah Digulung	68
Gambar 5.16 <i>Carbon Fiber Trial IV</i> Setelah Diuji	68
Gambar 5.17 Grafik Beban dan Deformasi <i>Carbon Fiber Trial IV</i>	68
Gambar 5.18 Benda Uji Resin Sebelum Diuji	70
Gambar 5.19 Benda Uji Resin Setelah Diuji	70
Gambar 5.20 Grafik Beban dan Deformasi Resin	71
Gambar 5.21 Benda Uji CFRP Sebelum Diuji	73
Gambar 5.22 Benda Uji CFRP Setelah Diuji	73

Gambar 5.23 Grafik Beban dan Deformasi CFRP	74
Gambar 5.24 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	77
Gambar 5.25 Grafik Persentase Agregat Halus	79
Gambar 5.26 Grafik Isi Beton	80
Gambar 5.27 Pengujian <i>Trial Mix Design</i> Silinder Beton	82
Gambar 5.28 Benda Uji <i>Pull Out</i>	88
Gambar 5.29 Benda Uji <i>Pull Out</i> Setelah Diuji	89
Gambar 5.30 <i>Setting Up</i> Benda Uji Balok Beton	92
Gambar 5.31 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Kontrol	92
Gambar 5.32 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Variasi I	93
Gambar 5.33 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Variasi II	93

ABSTRAK

Beton memiliki kelemahan dalam menahan gaya tarik dikarenakan sifat beton yang getas, sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut dibuatlah beton bertulang. Namun, beton bertulang memiliki kekurangan lain berupa nilai berat sendiri yang sangat besar. Sehingga, banyak inovasi untuk membuat beton lebih ringan tanpa menghilangkan fungsi kekuatan dan ketahanannya. Salah satunya ialah dengan penggunaan sebuah komposit *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) sebagai bahan pengganti baja tulangan. Dengan nilai berat jenis CFRP yang cukup kecil, diharapkan CFRP dapat mengurangi nilai berat sendiri dari beton namun dengan kekuatan yang sama, bahkan lebih baik. Dalam penelitian ini, CFRP digunakan sebagai bahan pengganti tulangan baja. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh CFRP sebagai bahan pengganti baja tulangan terhadap berat volume dan kuat lentur beton, serta mengetahui bagaimana perilaku lekatan CFRP terhadap beton.

Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan perhitungan campuran beton normal (SNI 03-2834-2000) dengan kuat desak rencana 20 MPa. Proses fabrikasi CFRP menggunakan metode *manual hand lay-up* dan pengujian kuat tarik CFRP dilakukan dengan pedoman dari ASTM D 3039/D 3039M-00. Dilakukan tiga buah pengujian utama, yaitu pengujian *pull out* untuk mengetahui perilaku lekatan CFRP, pengujian berat volume balok beton, dan pengujian kuat lentur balok beton.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadinya kegagalan material pada CFRP dalam pengujian *pull out*, dimana nilai tegangan rata-rata sebesar 0,3437 MPa. Kemudian, penggunaan CFRP sebagai pengganti baja tulangan beton bertulang juga mengakibatkan terjadinya penurunan nilai berat volume beton dan penurunan kekuatan pada kuat lentur. Hasil analisis berat volume diperoleh penurunan nilai berat volume yang nilainya mencapai 4,8516%. Hasil pengujian kuat lentur menunjukkan penurunan kuat lentur beton pada Balok Variasi I dengan rerata sebesar 40,0746% dan pada Balok Variasi II dengan rata-rata sebesar 44,4145% jika dibandingkan dengan rata-rata kuat lentur Balok Kontrol.

Kata kunci : Beton Bertulang, CFRP, *Pull Out*, Berat Volume, Kuat Lentur

ABSTRACT

Concrete has a weakness in tensile strength because the nature of concrete is brittle, so to anticipate this, there is a reinforced concrete. Moreover, reinforced concrete has another disadvantage in the form of self-weight of concrete itself is too high. So, there's a lot of innovations to make concrete lighter without losing the function of strength and durability. One of them is using a Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) composite as a replacement of reinforcing steel. With a quite small CFRP specific gravity value, it's expected to reduce the self-weight of concrete with the same strength ability, even better. In this research, CFRP is used as the replacement of reinforcing steel. Tests conducted to determine the impact of CFRP as the replacement of reinforcing steel of the unit weight and flexural strength of concrete, also to determine the behavior of CFRP to concrete.

Calculations of concrete mix design using the calculation of normal concrete mix (SNI 03-2834-2000) with compressive strength the plan 20 MPa. The fabrication of CFRP using a manual hand lay-up method and the test for tensile strength of CFRP is carried out with guidelines from ASTM D 3039/D 3039M-00. There will be three main tests, which is pull out test to determine the behavior of CFRP bond to concrete, volume weight test of concrete beam, and flexural strength test of concrete beam.

The results showed that there is material failure of CFRP on pull out test, with an average bond stress value is 0,3437 MPa. Then, the use of CFRP as the replacement of reinforcing steel also results a decrease in the volume weight value of concrete and a decrease in flexural strength. The results of volume weight analysis obtained a decrease in volume weight value up to 4,8516%. The results of flexural strength test showed a decrease of flexural strength on Variaton Beam I with an average of 40,0746% and on Variation Beam II with an average of 44,4145% when compared to the average flexural strength of Control Beam.

Key words : Reinforced Concrete, CFRP, Pull Out, Unit Weight, Flexural Strength

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan beton dan bahan-bahan vulkanik sebagai pembentuknya (seperti abu pozolanik) sebenarnya telah dimulai sejak zaman Yunani, Romawi dan mungkin juga sebelum itu. Akan tetapi, penggunaan bahan beton tersebut baru dapat berkembang pada awal abad ke 19. Dimulai dengan F. Coignet pada tahun 1801 yang menerbitkan tulisannya mengenai prinsip-prinsip konstruksi beton dengan meninjau kelemahan bahan tersebut terhadap tarik. Dengan kemajuan pesat yang terjadi di bidang ini, terbentuklah *German Committee For Reinforced Concrete*, *Australian Concrete Committee*, *American Concrete Institute*, dan *British Concrete Institute*. Banyak bangunan gedung, bendungan, jembatan, dan tempat penampungan air dari beton bertulang yang dibangun sebelum tahun 1920. Dan pada perkembangan saat ini, beton merupakan bahan yang paling banyak dipakai pada pembangunan dalam bidang teknik sipil, terutama beton bertulang.

Secara sederhana, beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidraulik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Sedangkan beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan baja yang dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi beban tarik yang tidak dapat ditahan oleh beton, sehingga kombinasi komposit dari beton bertulang ini memiliki kekuatan dan ketahanan yang lebih baik daripada beton tanpa tulangan. Namun, beton bertulang memiliki kelemahan yang paling utama, ialah rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat yang akan sangat berpengaruh pada struktur. Maka dari itu, saat ini banyak yang melakukan riset dan percobaan untuk membuat beton yang lebih ringan tanpa menghilangkan

fungsi dari kekuatan dan ketahanannya. Salah satu inovasinya ialah dengan penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*.

CFRP memiliki karakteristik yang hampir menyerupai tulangan baja, yaitu dapat menahan beban tarik yang sangat besar. Selain itu, diketahui bahwa CFRP memiliki berat jenis yang jauh lebih kecil daripada tulangan baja. Berdasarkan hal tersebut, dengan berat yang lebih kecil namun memiliki kemampuan yang sama dengan tulangan baja, maka penggunaan CFRP sebagai bahan pengganti tulangan baja dapat memperkecil berat dari beton itu sendiri.

Beton dengan CFRP sebagai tulangan utama dalam beton bertulang sudah pernah dilakukan oleh Norazman Mohamad Nor, dkk (2013), namun serat karbon yang digunakan dengan cara dihamparkan. Dalam tugas akhir ini, penulis akan menggunakan CFRP dengan ukuran dan jumlah yang serupa dengan baja tulangan. Hal ini dilakukan agar hasil yang diperoleh cukup signifikan dengan beton bertulang baja.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan antara lain sebagai berikut.

1. Bagaimana perilaku lekatan CFRP terhadap beton sebagai bahan pengganti baja tulangan pada beton bertulang?
2. Bagaimana pengaruh CFRP sebagai bahan pengganti baja tulangan pada beton bertulang terhadap berat volume balok?
3. Bagaimana pengaruh CFRP sebagai bahan pengganti baja tulangan pada beton bertulang terhadap kuat lentur balok?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan tersebut, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Mengetahui perilaku lekatan CFRP terhadap beton sebagai bahan pengganti baja tulangan pada beton bertulang.
2. Memahami pengaruh CFRP sebagai bahan pengganti baja tulangan pada beton bertulang terhadap berat volume balok.
3. Memahami pengaruh CFRP sebagai bahan pengganti baja tulangan pada beton bertulang terhadap kuat lentur balok.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pemahaman seputar beton bertulang dan penerapannya.
2. Berkontribusi dalam inovasi perkembangan teknologi beton.
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan penelitian yang akan datang.

1.5 Batasan Penelitian

Dalam penelitian yang dilaksanakan, terdapat beberapa batasan-batasan agar penelitian dapat berjalan efektif dan tidak menyimpang dari tujuan awal penelitian. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Serat karbon (*carbon fiber*) yang digunakan ialah jenis *SikaWrap Hex 230C* dengan tebal 0,3 mm, lebar 1500 mm, dan panjang 2000 mm.
2. *Carbon fiber* diubah menjadi sebuah material komposit dengan bantuan pengikat berupa resin (*epoxy*), yang disebut CFRP.
3. *Carbon fiber* dan paket resin (resin dan katalis) diperoleh dari Karyatama *Garage*, Yogyakarta, Indonesia.
4. Metode perhitungan jumlah tulangan CFRP yang digunakan ialah persamaan luas permukaan dengan tulangan baja
5. CFRP yang digunakan untuk setiap balok sebanyak 3 buah tulangan CFRP dengan ukuran tebal 2,4 mm, lebar 30 mm, dan panjang 1920 mm.

6. Agregat halus atau pasir dan agregat kasar atau kerikil didapatkan dari Gunung Merapi yang tersedia di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
7. Semen dan baja tulangan dengan ukuran P6 dan P10 yang digunakan adalah Semen Gresik yang diperoleh dari Toko Bangunan Wahyu Jaya, Sleman, Yogyakarta.
8. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
9. *Mix design* beton dilakukan dengan pedoman dari SNI 03-2834-2000.
10. Mutu beton yang digunakan sebesar 20 MPa dengan *slump* 14 – 15 cm.
11. Pengujian tarik CFRP dilakukan dengan pedoman ASTM *Designation* D 3039/D 3039 M-00 2000 *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Material*.
12. Pengujian tarik material seperti baja, *carbon fiber*, resin, dan CFRP dilakukan dengan bantuan mesin Hung-Ta : *Tensile Compression* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
13. Pengaruh luar berupa suhu, kelembaban udara, dan faktor-faktor lain diabaikan.
14. Benda uji berupa 3 buah silinder sampel dengan tinggi 15 cm dan diameter 30 cm, secara berurutan diberi kode SU1, SU2, dan SU3. Benda uji silinder ini digunakan untuk mencari nilai kuat tekan rencana untuk *trial mix design*.
15. Benda uji berupa 5 buah kubus uji dengan ukuran tiap sisinya 15 cm, yang secara berurutan diberi kode PO1, PO2, PO3, PO4, dan PO5. Benda uji kubus ini digunakan untuk mencari perilaku lekatan CFRP terhadap beton yang dilakukan dengan pengujian *pull out*.
16. Benda uji berupa 11 buah balok beton bertulang dengan ukuran 200 × 300 × 2000 mm. Dimana 3 buah balok sebagai balok kontrol dengan tulangan tarik (baja) 3D10 yang diikat dengan tulangan sengkang, yang secara berurutan diberi kode

BK1, BK2, BK3; 4 buah lainnya ialah balok uji dengan tulangan tarik (CFRP) yang diikat dengan tulangan sengkang, yang secara berurutan diberi kode BVI-1, BVI-2, BVI-3, dan BVI-4; dan 4 buah lainnya ialah balok uji dengan tulangan tarik (CFRP) dan tulangan tekan (baja) yang diikat dengan tulangan sengkang, yang secara berurutan diberi kode BVII-1, BVII-2, BVII-3, dan BVII-4. Benda uji berupa balok ini digunakan untuk mengetahui perbandingan kuat lentur antara balok beton kontrol dan balok beton variasi.

17. Benda uji berupa silinder kontrol masing-masing 3 buah silinder setiap balok uji dengan ukuran tinggi 15 cm dan diameter 30 cm. benda uji berupa silinder kontrol ini digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan dari campuran beton pada balok uji.
18. Pengujian dilakukan pada usia beton 28 hari.
19. Silinder uji *trial mix design* dirawat dengan cara direndam air.
20. Balok uji dan silinder kontrol pengujian utama dirawat dengan ditutupi karung basah.
21. Pengujian tekan silinder dilakukan dengan alat *Compression Testing Machine* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
22. Pengujian *pull out* dilakukan dengan bantuan mesin Hung-Ta : *Tensile Compression* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
23. Pengujian lentur dilakukan dengan beban vertikal berupa beban terpusat ganda (*two point loads*).
24. Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok beton dilakukan di Laboratorium Struktur dan Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Umum

2.1.1 Beton

Definisi beton menurut SNI-2847-2013 ialah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Beton membeku dan mengeras setelah pencampuran dengan air dan penempatan karena proses kimia yang dikenal sebagai hidrasi. Air bereaksi dengan semen, yang mengikat komponen lainnya bersama-sama kemudian membentuk material yang keras seperti batu.

Bangunan yang menggunakan konstruksi utama berupa beton memiliki beberapa keunggulan antara lain sebagai berikut.

1. Keunggulan utama dari beton ialah kuat tekan dari beton yang besar.
2. Beton termasuk tahan aus dan tahan terhadap kebakaran.
3. Beton sangat kokoh dan kuat terhadap beban gempa bumi, getaran, maupun beban angin.
4. Berbagai bentuk konstruksi dapat dibuat dari bahan beton sesuai selera perancang atau pemakai.
5. Biaya pemeliharaan atau perawatan sangat sedikit.

Akan tetapi, beton sebagai konstruksi utama sebuah bangunan juga memiliki beberapa kekurangan sebagai berikut.

1. Beton memiliki kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak.
2. Beton memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap di tempatnya hingga beton itu mengeras.
3. Konstruksi beton cukup berat, sehingga jika dipakai pada bangunan harus disediakan yang cukup besar atau kuat untuk beban dari beton itu sendiri.

4. Untuk memperoleh hasil beton dengan mutu yang baik, perlu biaya pengawasan tersendiri.
5. Konstruksi beton tidak dapat dipindah serta bongkahan bekas runtuh beton tidak dapat digunakan kembali.

2.1.2 Beton Bertulang

Menurut Bahar dkk. (2005), beton bertulang merupakan beton yang mengandung penulangan yang cukup (prategang maupun bukan) dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material yaitu beton dan baja tulangan yang bekerja bersama-sama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja padanya.

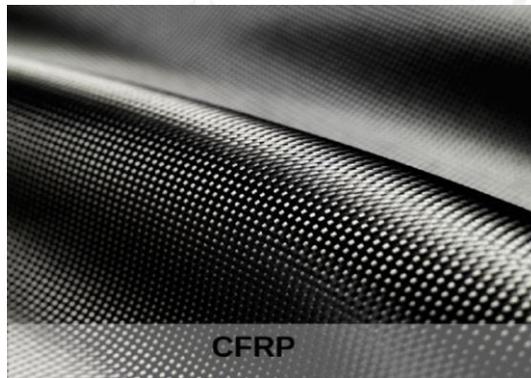
Ada beberapa alasan beton bertulang dipilih menjadi bahan konstruksi yang universal, antara lain sebagai berikut.

1. Beton bertulang memiliki kuat tekan dan kuat tarik yang cukup besar bila dibandingkan bahan konstruksi lainnya.
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air.
3. Beton bertulang tidak perlu biaya pemeliharaan yang tinggi.
4. Memiliki usia layan yang sangat panjang.

2.1.3 *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP)

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) adalah aplikasi lanjutan atau perkembangan dari FRP (*Fiber Reinforced Polymer*). Daya tahan CFRP yang tinggi lebih ekonomis digunakan pada lingkungan korosif dimana baja akan lebih mudah berkarat. Penggunaan CFRP lebih populer mengingat banyaknya keuntungan yang dapat diperoleh seperti bobot unit yang kecil, mudah diaplikasikan atau ditangani, biaya instalasi dan pemeliharaan yang rendah. Kerugian yang paling utama dalam penggunaan CFRP sebagai sistem perkuatan adalah harga material yang relatif lebih mahal (Meier, 1997).

CFRP merupakan material komposit yang terdiri dari bahan utama dan bahan pengikat. Bahan utamanya adalah serat karbon yang memberikan kekuatan utama lalu diikat biasanya menggunakan resin polimer, seperti epoksi. CFRP memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup terarah jika diukur dari tegangan dan modulus elastisitas. Sifat-sifat CFRP tergantung pada tata letak serat karbon dan proporsi serat karbon relatif terhadap polimer. Pada Gambar 2.1 berikut dapat dilihat dari bentuk CFRP lembaran.



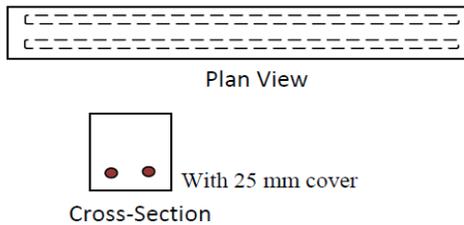
Gambar 2.1 Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Lembaran
(Sumber : www.courseworkspot.com, Maret 2020)

2.2 Penelitian Terdahulu

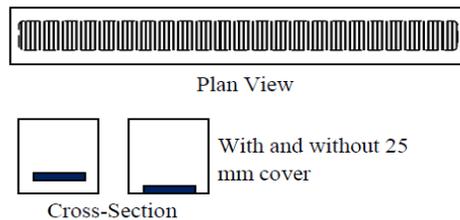
Nor dkk. (2013) menuliskan sebuah jurnal yang berjudul ”*Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) as Reinforcement for Concrete Beam*”. Di dalam jurnal ini mereka melakukan sebuah penelitian untuk mencari sebuah alternatif perkuatan *non-metal* untuk struktur beton menggunakan CFRP. Dimana CFRP digunakan sebagai pengganti baja tulangan yang digunakan untuk menopang beban tarik.

Dalam penelitian ini dibuat 3 (tiga) tipe beton uji. Tipe 1 adalah beton kontrol dengan ukuran $600 \times 150 \times 150$ mm dengan 2 buah baja tulangan berdiameter 12 mm serta selimut beton berjarak 25 mm. Tipe 2 adalah beton uji dengan ukuran yang sama dengan Tipe 1 tetapi baja tulangan diganti dengan CFRP berukuran $450 \times 60 \times 4,5$ mm dengan jarak selimut beton 25 mm. Tipe 3 adalah beton uji dengan ukuran beton dan CFRP yang sama dengan beton Tipe 2, hanya saja CFRP yang dipasang

tanpa ada selimut beton atau pelindung sama sekali. Untuk benda uji Tipe 1 dapat dilihat pada Gambar 2.2 serta Gambar 2.3 untuk benda uji Tipe 2 dan Tipe 3.



Gambar 2.2 Beton Bertulang Baja (Tipe 1)
(Sumber : Nor dkk, 2013)



Gambar 2.3 Beton Bertulang CFRP (Tipe 2 dan Tipe 3)
(Sumber : Nor dkk, 2013)

Dari hasil penelitian tersebut berdasarkan hasil pengujian kuat lentur diperoleh nilai bahwa kekuatan maksimal yang dapat ditahan oleh Tipe 1 adalah sebesar 20,2 kN, Tipe 2 sebesar 22,1 kN, dan Tipe 3 27,2 kN. Meskipun balok Tipe 3 dapat menopang kekuatan lebih besar dari pada Tipe 2, namun balok Tipe 3 mengalami *split* (terpisah) menjadi 2 buah bagian serta terjadinya *slip* (licin) yang menyebabkan antara CFRP dan beton terjadi *snap* (lepas ikatan). Sehingga, dapat dikatakan bahwa balok Tipe 3 tidak layak struktur.

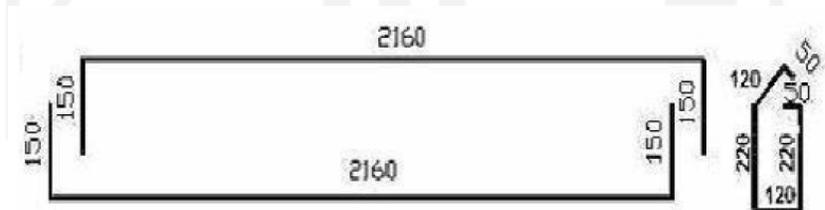
Secara keseluruhan, penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggunaan CFRP sebagai tulangan pengganti baja dalam beton bertulang dapat juga menguatkan beton pada area tarik.
2. Beton bertulang CFRP sangat baik untuk menopang beban lentur.
3. Ikatan antara CFRP dan beton memiliki peran yang sangat penting, maka lapisan beton pada CFRP lebih baik untuk struktur.

4. Kemampuan dan perilaku dari beton bertulang CFRP memiliki kekuatan yang serupa dengan beton bertulang baja.

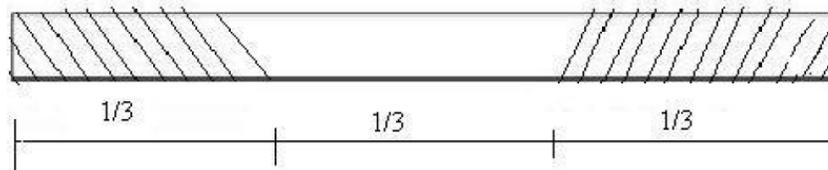
Onal (2009) telah melakukan penelitian mengenai “*Reinforcement of Beams by Using Carbon Fiber Reinforced Polymer in Concrete Buildings*”. Beliau mengatakan bahwa balok beton memiliki kekuatan lentur dan geser yang memadai, sehingga dilakukan penelitian perkuatan balok dengan CFRP. Penelitian ini dilakukan pada balok persegi panjang yang diamati membutuhkan tulangan setelah dilakukannya pemeriksaan dan analisis statistik. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kekuatan geser dari balok.

Dalam penelitian ini dilaksanakan dengan 3 tipe balok. Tipe 1 adalah balok beton yang diperkuat dengan CFRP dan epoksi di daerah tekan. Tipe 2 adalah balok yang diperkuat dengan menambahkan CFRP dengan sudut 45° pada daerah geser. Balok Tipe 3 adalah balok kontrol dengan tulangan berdiameter 8 mm dan 12 mm. Semua balok uji memiliki dimensi $150 \times 250 \times 2200$ mm. Sampel benda uji dapat dilihat pada Gambar 2.4 untuk sampel Tipe 1, Gambar 2.5 untuk sampel Tipe 2, dan Gambar 2.6 untuk sampel Tipe 3.



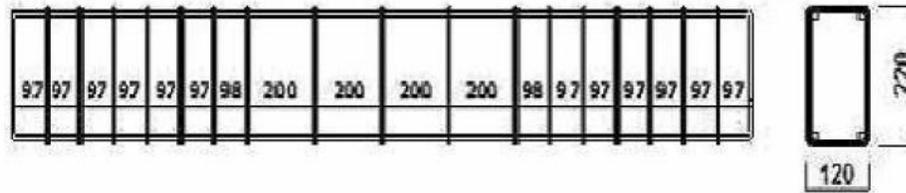
Gambar 2.4 Beton dengan CFRP di Daerah Tekan (Tipe 1)

(Sumber : Onal, 2009)



Gambar 2.5 Beton dengan CFRP di Daerah Geser (Tipe 2)

(Sumber : Onal, 2009)



Gambar 2.6 Beton Kontrol dengan Tulangan Baja (Tipe 3)

(Sumber : MM Onal, 2009)

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai pembebanan maksimum dan nilai *displacement* dalam hasil rata-rata. Rata-rata pembebanan maksimum yang dapat ditahan oleh balok Tipe 1 sebesar 132,567 kN dengan rata-rata *displacement* 47 mm. Sedangkan nilai rata-rata beban maksimum untuk balok Tipe 2 sebesar 122,6 kN dan rata-rata *displacement* sebesar 32,67 mm. Sebagai balok kontrol, balok Tipe 3 rata-rata pembebanan maksimum bernilai sebesar 95,833 kN dan nilai *displacement* 45,3 mm.

Jika ditarik kesimpulan, maka balok beton dengan perkuatan CFRP dapat meningkatkan kekuatan balok tersebut hingga 40-45% dimana nilai *displacement* dapat berkurang 35-40%. Daerah yang patah atau retak pun dapat berkurang sebesar 80% dari tulangan dengan CFRP. Kemungkinan struktur balok beton dengan CFRP gagal menurun sebesar 30% ketika energi untuk menahan beban yang terpakai meningkat hingga 14,5%.

Kristiandono (2019) melakukan sebuah penelitian tentang beton serat dengan judul “Analisis Pengaruh Campuran Serat Karbon Terhadap Kekuatan Beton dalam Menahan Beban Desak, Beban Tarik, dan Beban Lentur”. Dalam penelitian tersebut, beliau berusaha mewujudkan beton serat yang diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton khususnya kuat tarik beton dengan menambahkan potongan serat karbon, pada campuran beton sebanyak 0% dari berat beton normal dalam campuran beton sebagai beton uji pengontrol dan penambahan potongan atau cacahan serat karbon pada campuran beton sebanyak 0,4% dari berat beton normal dalam campuran beton sebagai benda uji yang diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lenturnya. Dengan sifat serat karbon yang kuat dan ringan, diharapkan

dengan penambahan serat karbon pada beton ini dapat meningkatkan kekuatan beton namun tidak meningkatkan berat beton itu sendiri.

Pada penelitian ini menggunakan sampel berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm serta benda uji berbentuk balok dengan dimensi $150 \times 100 \times 400$ mm. Benda uji akan dikelompokkan berdasarkan panjang serat karbon dengan panjang serat 5mm, 10mm, dan 15mm dengan kadar campuran serat masing-masing 0,4% dari berat beton normal, kadar Sika Viscocrete sebesar 0,3% dari berat semen, serta kelompok benda uji kontrol dengan kadar serat karbon 0% dan Sika Viscocrete 0%. Setiap kelompok benda uji membutuhkan masing-masing 3 benda uji balok dan 3 benda uji silinder untuk pengujian desak, tarik, dan lentur.

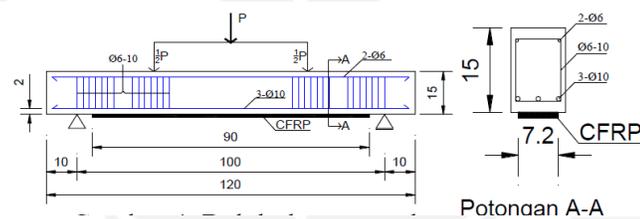
Setelah dilakukan penelitian, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

1. Hasil pengujian penambahan serat karbon dengan panjang 15 mm dengan Sika Viscocrete-3115N dapat meningkatkan kuat desak beton sebesar 45,32%, kuat tarik/belah beton sebesar 73,29%, dan kuat lentur beton sebesar 78,83%.
2. Hasil pengujian penambahan serat karbon ke dalam beton dapat meningkatkan modulus elastisitas beton dengan peningkatan terbesar pada penambahan serat karbon dengan panjang 15 mm dengan Viscocrete-3115N sebesar 20,566%
3. Hasil pengujian penambahan serat karbon ke dalam beton mampu menjaga berat jenis beton yaitu sebesar $2,3 \text{ T/m}^3$.

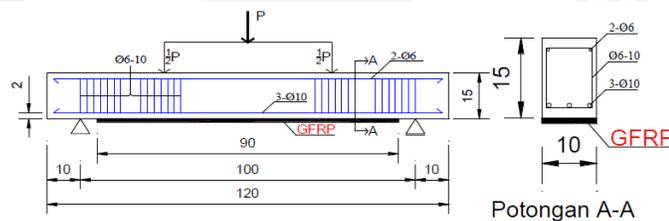
Ginardi (2014) meneliti perkuatan beton dengan judul “Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CFRP dan GFRP”. Perkuatan atau *retrofit* dapat dilakukan dengan cara penambahan tulangan dengan *jacketing*, penambahan pelat baja, penambahan rangka batang, dan dengan penambahan FRP (*Fiber Reinforcement Polymer*). FRP sendiri memiliki banyak jenis, namun untuk penelitian ini digunakan jenis CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*) dan GFRP (*Glass Fiber Reinforcement Polymer*).

Benda uji dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan ukuran $100 \times 150 \times 1200$ mm yang dibuat sebanyak 9 buah. Kesembilan benda uji dibagi menjadi

3 kelompok. Kelompok pertama diberi nama BK (balok kontrol), kelompok kedua diberi nama BC (balok diperkuat dengan CFRP), dan kelompok balok ketiga diberi nama BG (balok diperkuat dengan GFRP). Benda uji BK diberikan beban sampai benda uji runtuh. Setelah didapatkan beban maksimal, 6 benda uji lainnya diberikan 75% beban runtuh yang didapat dari pengujian BK. Setelah diberikan 75% beban runtuh, 3 benda uji BC diberi perkuatan CFRP dan BG dengan GFRP. Setelah itu, balok diberi beban hingga runtuh. Benda uji beton bertulang dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.7 Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP
(Sumber : Ginardi, 2014)



Gambar 2.8 Beton Bertulang dengan Perkuatan GFRP
(Sumber : Ginardi, 2014)

Hasil pengujian yang dilakukan berupa beban maksimal yang dapat ditahan balok ketika balok melendut hingga 7,5 mm. Untuk BK rata-rata beban yang dapat ditahan adalah sebesar 4608,387 kg, BC sebesar 5695,465, dan BG dapat menahan beban rata-rata sebesar 5241,375 kg. Dimana, jika dipresentasikan maka CFRP dapat meningkatkan kekuatan beton sebesar 23,589% sedangkan balok mendapat tambahan kekuatan dari perkuatan GFRP sebesar 13,736% dari balok kontrol.

2.3 Keaslian Penelitian

Topik yang akan dibahas dalam penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian terdahulu yang dipublikasikan sebelumnya oleh Norazman Mohamad Nor, Mohd Hanif Ahmad Boestaman, dan Mohammed Alias Yusof (2013). Namun, pada penelitian kali ini CFRP yang digunakan akan dibentuk seperti tulangan dengan lebar dan ketebalan tertentu agar memperoleh hasil yang cukup signifikan dengan tulangan baja pada umumnya.

Perbandingan antara penelitian terdahulu yang telah dilaksanakan dan penelitian yang akan dilaksanakan akan ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.



Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

Peneliti	Norazman Mohamad Nor, dkk (2013) (1)	M. Mustafa Onal (2009) (2)	Yesa Kristiandono (2019) (3)	Ireneus Petrico Ginardi (2014) (4)	Amartya Rizki Ananda (2020) (5)
Judul	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) as Reinforcement for Concrete Beam</i>	<i>Reinforcement of Beams by Using Carbon Fiber Reinforced Polymer in Concrete Buildings</i>	Analisis Pengaruh Campuran Serat Karbon Terhadap Kekuatan Beton dalam Menahan Beban Desak, Beban Tarik, dan Beban Lentur	Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CFRP dan GFRP	Pengaruh Penggunaan <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i> Sebagai Bahan Pengganti Tulangan Terhadap Kuat Lentur Beton
Tujuan	Mencari sebuah alternatif perkuatan <i>non-metal</i> untuk struktur beton menggunakan CFRP.	Meningkatkan kekuatan geser dari balok dengan melakukan perkuatan menggunakan CFRP.	Mengetahui dampak penambahan serat karbon ke dalam beton dalam upaya peningkatan kemampuan beton dalam menahan beban desak, beban tarik, dan beban lentur.	Mengetahui kekuatan lentur balok beton bertulang dengan menggunakan perkuatan CFRP dan GFRP.	Mengetahui dampak penggantian tulangan baja dengan CFRP terhadap kuat lentur, lekatan, dan berat volume balok beton bertulang.
Parameter	Kuat Lentur	Gaya geser dan momen bending	Kuat desak, kuat belah, dan kuat lentur.	Kuat Lentur	Kuat Lentur, berat volume beton, dan lekatan CFRP.
Bahan Tambah	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i> dalam bentuk lembaran	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i> dalam bentuk lembaran	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i> dalam bentuk potongan atau cacahan	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i> dan <i>Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)</i> dalam bentuk pelat	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i> dengan ukuran dan jumlah tertentu yang direncanakan hampir menyerupai baja tulangan
Metode	Benda uji yang digunakan terdiri dari tiga tipe. Tipe 1 adalah beton kontrol dengan ukuran 600 × 150 × 150 mm dengan 2D12 dan selimut beton 25 mm. Tipe 2 adalah beton uji dengan ukuran yang sama dengan Tipe 1 tetapi baja tulangan diganti dengan	Dalam penelitian ini dilaksanakan dengan 3 tipe balok. Tipe 1 adalah balok beton yang diperkuat dengan CFRP dan epoksi di daerah tekan. Tipe 2 adalah balok yang diperkuat dengan menambahkan CFRP dengan sudut 45°	Pengujian dilakukan setelah benda uji berusia 28 hari. Pengujian yang dilakukan berupa uji desak, belah, dan lentur. Variasi berupa panjang serat karbon, yaitu 5mm, 10mm, dan 15mm dengan kadar 0,3% dari berat bahan pengikat (semen).	Benda uji dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan ukuran 100 × 150 × 1200 mm. Benda uji dibuat sebanyak 9 buah, yang dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu kelompok BK, BC, dan BG. Benda uji	Benda uji berupa 11 buah balok beton bertulang dengan ukuran 200 × 300 × 2000 mm. Dimana 3 buah balok kontrol dengan baja tulangan tunggal 3P10, 4 buah Balok Variasi I (BVI) dengan 3 buah tulangan CFRP pada tulangan bawah , 4 buah

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

Peneliti	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Metode	CFRP berukuran 450 × 60×× 4,5 mm dengan jarak selimut beton 25 mm. Tipe 3 adalah beton uji dengan ukuran beton dan CFRP yang sama dengan beton Tipe 2, hanya saja CFRP yang dipasang tanpa ada selimut beton sama sekali. Kemudian dilakukan pengujian lentur.	pada daerah geser. Balok Tipe 3 adalah balok kontrol dengan tulangan berdiameter 8 mm dan 12 mm. Semua balok uji memiliki dimensi 150 × 250 × 2200 mm. Kemudian dilakukan pengujian untuk memperlihatkan perbandingan antara beban yang diberikan dan <i>displacement</i> yang terjadi.		BK diberikan beban sampai benda uji runtuh. Setelah didapatkan beban maksimal, enam benda uji lainnya diberikan 75% beban runtuh yang didapat dari pengujian BK. Setelah diberikan 75% beban runtuh, 3 benda uji BC diberi perkuatan CFRP dan BG dengan GFRP. Setelah itu, balok diberi beban hingga runtuh.	Balok Variasi II (BVII) dengan 3 buah tulangan CFRP pada tulangan bawah dan tulangan baja 2P10 pada tulangan atas. Selanjutnya beton ini akan dilakukan pengujian berat dan kuat lentur beton. Kemudian, benda uji kubus yang ditanam tulangan CFRP yang akan dilakukan pengujian <i>pull out</i> guna mengetahui perilaku lekatan CFRP terhadap beton.
Hasil	Dari hasil penelitian tersebut berdasarkan hasil pengujian kuat lentur diperoleh nilai bahwa kekuatan maksimal yang dapat ditahan oleh Tipe 1 adalah sebesar 20,2 kN, Tipe 2 sebesar 22,1 kN, dan Tipe 3 27,2 kN. Namun balok Tipe 3 mengalami <i>split</i> menjadi 2 buah bagian serta terjadinya <i>slip</i> yang menyebabkan antara CFRP dan beton terjadi <i>snap</i> .	Balok beton dengan perkuatan CFRP dapat meningkatkan kekuatan balok tersebut hingga 40-45% dimana nilai <i>displacement</i> dapat berkurang 35-40%. Daerah yang patah atau retak pun dapat berkurang sebesar 80% dari tulangan dengan CFRP. Kemungkinan struktur balok beton dengan CFRP gagal menurun sebesar 30% ketika energi untuk menahan beban yang terpakai meningkat hingga 14,5%.	Hasil pengujian penambahan serat karbon dengan panjang 15 mm dengan Sika Viscocrete-3115N dapat meningkatkan kuat desak beton sebesar 45,32%, kuat tarik/belah beton sebesar 73,29%, dan kuat lentur beton sebesar 78,83% serta modulus elastisitas beton sebesar 20,566%. Selain itu, penggunaan serat karbon dapat menjaga berat jenis beton (2,3 T/m ³).	Hasil pengujian yang dilakukan berupa beban maksimal yang dapat ditahan balok ketika balok melendut hingga 7,5 mm. Untuk BK rata-rata beban yang dapat ditahan adalah sebesar 4608, 387 kg, untuk BC sebesar 5695,465 kg (+23,589%), sedangkan BG dapat menahan beban rata-rata sebesar 5241,375 kg (+13,736%).	

BAB III

LANDASAN TEORI

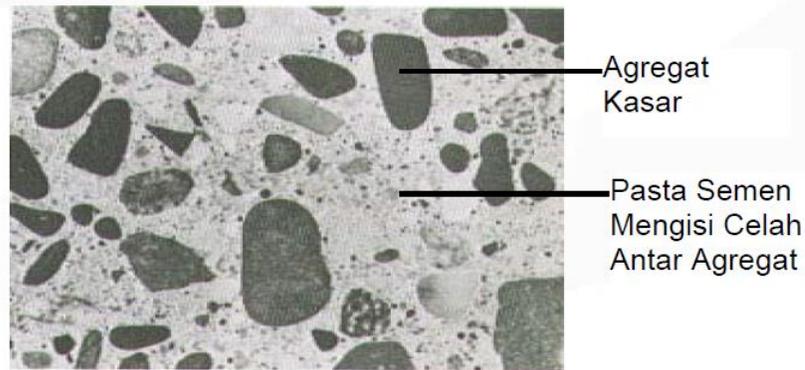
3.1 Beton Bertulang

Sifat utama dari beton, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga bersifat getas/mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Dalam perhitungan struktur, biasanya kuat tarik beton diabaikan. Sifat utama dari baja tulangan adalah sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Karena baja tulangan harganya mahal, maka sebisa mungkin dihindari penggunaan baja tulangan untuk memikul beban tekan (Asroni, 2010).

Dari sifat utama tersebut, maka jika kedua bahan tersebut dipadukan akan menjadi satu kesatuan yang komposit dan memperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini memiliki sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

3.1.1 Beton

Menurut SK-SNI-T15-1991-03, beton dibuat dengan mencampur Semen Portland (PC), air, dan agregat, serta dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*) dalam pebandingan tertentu. Bahan tambah dapat berupa bahan kimia, serat, ataupun bahan buangan non-kimia. Beton dibentuk dari agregat campuran antara halus dan kasar dan ditambah dengan pasta semen. Singkatnya, dapat dikatakan bahwa pasta semen mengikat pasir dan bahan agregat lain. Rongga di antara bahan-bahan kasar kemudian diisi oleh bahan-bahan halus. Detail isi material pada sebuah beton dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Potongan Beton

(Sumber : Bahar dkk, 2005)

Beton memiliki sifat-sifat yang dibedakan menjadi dua fase yaitu ketika beton masih dalam fase beton segar dan beton keras, antara lain sebagai berikut.

1. Beton segar

- a. Kemudahan pengerjaan (*workability*), umumnya dinyatakan dalam besaran nilai *slump* (cm).
- b. Segregasi ialah kecenderungan agregat kasar untuk memisahkan diri dari campuran adukan beton.
- c. *Bleeding* adalah kecenderungan air campuran untuk naik ke atas atau memisahkan diri pada beton segar yang baru saja dipadatkan.

2. Beton keras

- a. Sifat jangka pendek

1) Kuat tekan

Karena sifat utama dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka perlu mutu beton yang pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Kuat tekan beton diberi notasi dengan f_c' , yaitu kuat tekan silinder beton yang diisyaratkan pada waktu berumur 28 hari. Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton berdiameter 15 cm dan tingginya 30 cm ditekan dengan beban P sampai runtuh. Karena ada beban tekan P , maka terjadi tegangan tekan pada beton (σ_c) sebesar beban (P)

dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga apabila dirumuskan akan menjadi seperti berikut.

$$\sigma_c = P/A \quad (3.1)$$

dengan :

σ_c = tegangan tekan beton (MPa)

P = besar beban tekan (N)

A = luas penampang beton (mm^2)

Beban (P) tersebut juga mengakibatkan bentuk fisik silinder beton berubah menjadi lebih pendek, sehingga timbul regangan tekan pada beton (ϵ_c') sebesar perpendekan beton (ΔL) dibagi dengan tinggi awal silinder beton (L_0), ditulis dengan rumus berikut.

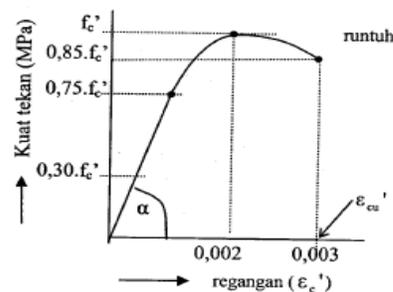
$$\epsilon_c' = \Delta L / L_0 \quad (3.2)$$

dengan :

ϵ_c' = regangan tekan beton

ΔL = perpendekan beton (mm)

L_0 = tinggi awal silinder beton (mm)



Gambar 3.2 Hubungan Tegangan dan Regangan Tekan Beton

(Sumber : Asroni, 2010)

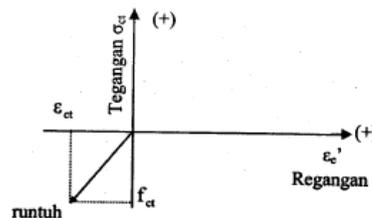
Pada Gambar 3.2 tampak perilaku tegangan regangan beton sebagai berikut.

- a) Ketika beban tekan mencapai $0,3.f_c' - 0,4.f_c'$, perilaku tegangan beton pada dasarnya masih linear. Retak-retak lekatan (*bond crack*) yang sebelum pembebanan sudah terbentuk, akan tetap stabil dan tidak berubah selama tegangan tekan yang bekerja masih di bawah $0,3.f_c'$.
- b) Ketika beban tekan melebihi $0,3.f_c' - 0,4.f_c'$, retak-retak lekatan mulai terbentuk. Pada saat ini mulai deviasi pada hubungan tegangan-regangan dari kondisi linear.
- c) Ketika beban tekan mencapai $0,75.f_c' - 0,90.f_c'$, retak-retak lekatan tersebut merambat ke mortar sehingga terbentuk pola retak yang kontinu. Pada kondisi ini hubungan tegangan-regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linear.

Gambar 3.2 juga menunjukkan bahwa ketika beton akan runtuh (kuat tekan beton telah mencapai puncak f_c'), maka tegangan beton turun menjadi ($0,85.f_c'$) sedangkan regangan tekan tetap naik sampai mencapai batas retak.

2) Kuat tarik

Perilaku beton pada saat diberikan beban aksial tarik agak sedikit berbeda dengan perilakunya pada saat diberikan beban tekan. Hubungan antara tegangan dan regangan tarik beton umumnya bersifat linear sampai terjadi retak yang biasanya langsung diikuti oleh keruntuhan beton, seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Hubungan Tegangan dan Regangan Tarik Beton

(Sumber : Asroni, 2010)

Kuat tarik beton (f_{ct}) jauh lebih kecil daripada kuat tekannya, yaitu sekitar 10% dari kuat tekan beton (f_c').

3) Modulus elastisitas beton

Dari Gambar 3.3, terlihat sudut α , yaitu sudut antara garis lurus kurva yang ditarik dari kondisi tegangan nol sampai tegangan tekan sebesar $0,45.f_c'$ dan garis regangan ϵ_c' . Modulus elastisitas beton (E_c) merupakan tangens dari sudut α tersebut. Menurut Pasal 10.5 SNI 03-2847-2002, modulus elastisitas beton dapat ditentukan berdasarkan berat beton normal (W_c) dan kuat tekan beton f_c' , dengan rumus di bawah ini.

$$E_c = (W_c)^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f_c'} \quad (3.3)$$

dimana :

E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = 1500 – 2500 kg/m³

Untuk beton normal, nilai E_c dihitung dengan rumus berikut.

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'} \quad (3.4)$$

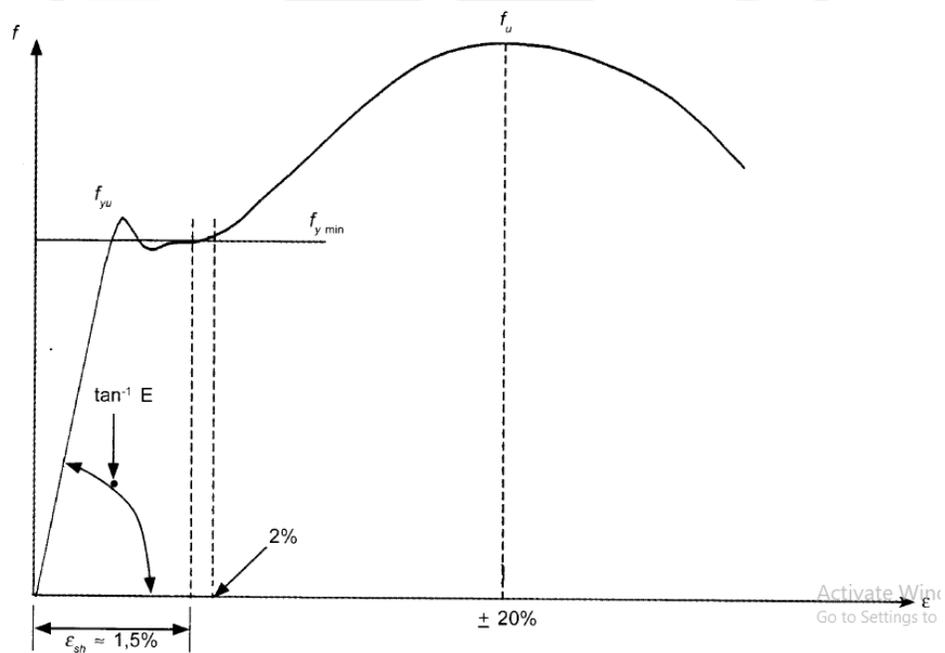
b. Sifat jangka panjang

- 1) Rangkak adalah peningkatan deformasi atau regangan secara bertahap terhadap waktu akibat beban yang bekerja secara konstan.
- 2) Susut adalah berkurangnya volume beton jika terjadi kehilangan kandungan uap air akibat penguapan.

3.1.2 Baja Tulangan

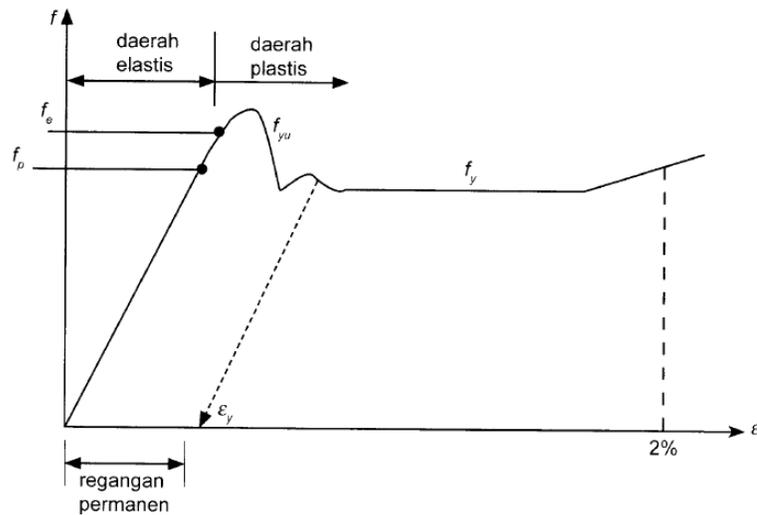
Tulangan merupakan suatu fungsi yang sangat penting untuk struktur beton karena daya dukung struktur beton bertulang didapatkan dari hasil kerja sama antara beton dan tulangan. Menurut Setiawan (2008), seorang ahli struktur harus memahami

sifat-sifat mekanik dari baja agar dapat memahami perilaku suatu struktur baja. Model pengujian yang paling tepat untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik dari material baja adalah dengan melakukan uji tarik terhadap suatu benda uji baja. Uji tekan tidak dapat memberikan data yang akurat terhadap sifat-sifat mekanik baja, karena disebabkan beberapa hal antara lain adanya potensi tekuk pada benda uji yang mengakibatkan ketidakstabilan dari benda uji tersebut, selain itu perhitungan tegangan yang terjadi di dalam benda uji lebih mudah dilakukan untuk uji tarik daripada uji tekan. Grafik tegangan-regangan baja dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5 berikut.



Gambar 3.4 Kurva Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ϵ)

(Sumber : Setiawan, 2008)



Gambar 3.5 Bagian Kurva Tegangan-Regangan yang Diperbesar
(Sumber : Setiawan, 2008)

Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 di atas menunjukkan suatu hasil uji tarik material baja yang dilakukan pada suhu kamar serta dengan memberikan laju regangan yang normal. Tegangan nominal (f) yang terjadi dalam benda uji diplot pada sumbu vertikal, sedangkan regangan (ϵ) yang merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula ($\Delta L/L$) diplot pada sumbu horizontal. Gambar 3.5 merupakan hasil uji tarik dari suatu benda uji baja yang dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan, sedangkan Gambar 3.6 menunjukkan gambaran yang lebih detail dari perilaku benda uji hingga mencapai regangan sebesar $\pm 2\%$.

Keterangan titik-titik penting pada kurva tegangan-regangan antara lain adalah :

- f_p = batas proporsional
- f_e = batas elastis
- f_{yu}, f_y = tegangan leleh atas dan bawah
- f_u = tegangan putus
- ϵ_{sb} = regangan saat mulai terjadi efek *strain-hardening*
- ϵ_u = regangan saat tercapainya tegangan putus

Titik-titik penting ini membagi kurva tegangan-regangan menjadi beberapa daerah sebagai berikut :

1. Daerah linear antara 0 dan f_p , dalam daerah ini berlaku Hukum Hooke, kemiringan dari bagian kurva yang lurus ini disebut sebagai Modulus Elastisitas atau Modulus *Young* ($E = f/\epsilon$).
2. Daerah elastis antara 0 dan f_e , pada daerah ini jika beban dihilangkan maka benda uji akan kembali ke bentuk semula atau dikatakan bahwa benda uji tersebut masih bersifat elastis.
3. Daerah plastis yang dibatasi oleh regangan antara 2% hingga 1,2-1,5%, pada bagian ini regangan mengalami kenaikan akibat tegangan konstan sebesar f_y . daerah ini dapat menunjukkan pula tingkat daktilitas dari material baja tersebut. Pada baja mutu tinggi terdapat pula daerah plastis, namun pada daerah ini tegangan masih mengalami kenaikan. Karena itu, baja jenis ini tidak mempunyai daerah plastis yang benar-benar datar sehingga tak dapat dipakai dalam analisis plastis.
4. Daerah penguatan regangan (*strain-hardening*) antara ϵ_{sb} dan ϵ_u . untuk regangan lebih besar dari 15 hingga 20 kali regangan elastis maksimum, tegangan kembali mengalami kenaikan namun dengan kemiringan yang lebih kecil daripada kemiringan daerah elastis. Daerah ini dinamakan daerah penguatan regangan (*strain-hardening*), yang berlanjut hingga mencapai tegangan putus. Kemiringan daerah ini dinamakan modulus penguatan regangan (E_u).

3.2 Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Yuanxin dalam Putra (2016) menyebutkan bahwa gabungan antara serat dan matriks disebut material komposit. Material komposit menggabungkan keunggulan kekuatan dan kekakuan dari serat dengan massa jenis yang rendah. Hasilnya adalah suatu bahan yang ringan tetapi kuat dan kaku. Salah satu keuntungan material komposit adalah kemungkinan diarahkan dalam arah tertentu (*tailoring*). Artinya, dapat diarahkan sehingga hanya kuat dan kaku dalam arah tertentu dan lemah dalam

arah-arah yang tidak dikehendaki. Ada berbagai macam jenis komposit, salah satunya adalah serat karbon atau *carbon fiber reinforced polymer (CFRP)*.

Unsur penyusun bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat dan bahan pengikat yang disebut matriks.

1. Serat

Serat ini berkerja sebagai unsur yang menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan, serta sifat-sifat mekanik lainnya. Serat inilah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit. Dalam CFRP, serat karbon adalah komponen yang berperan sebagai serat. Komposit dengan penguat serat seperti serat karbon sangat efektif. Hal ini dikarenakan bahan dalam bentuk serat jauh lebih kuat dan kaku dibanding bahan yang sama dalam bentuk padat. Kekuatan serat terletak pada ukurannya yang sangat kecil. Ukuran yang kecil tersebut menghilangkan cacat-cacat dan ketidaksempurnaan kristal yang biasa terdapat pada bahan berbentuk padatan besar, sehingga serat menyerupai kristal tunggal yang tanpa cacat, dengan demikian kekuatannya lebih besar.

2. Matriks

Resin memiliki peran sebagai matriks dalam susunan komposit CFRP. Matriks bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Matriks harus bisa meneruskan beban dari luar ke serat. Umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan yang lunak dan liat. Matriks juga umumnya dipilih dari kemampuannya menahan panas. CFRP memiliki banyak kegunaan baik dalam konstruksi maupun nonkonstruksi. Dalam bidang nonkonstruksi biasanya CFRP dapat digunakan dalam pengaplikasian badan pesawat, otomotif, dan kapal layar. Untuk bidang konstruksi sendiri, CFRP banyak digunakan sebagai bahan tambah untuk perkuatan tambahan pada bangunan yang sudah ada.

Jika dibandingkan dengan baja tulangan, CFRP memang memiliki cukup banyak kelebihan, yaitu sebagai berikut.

1. Kuat tarik CFRP mampu melebihi dari kuat tarik baja tulangan, yaitu sebesar 2800 MPa.

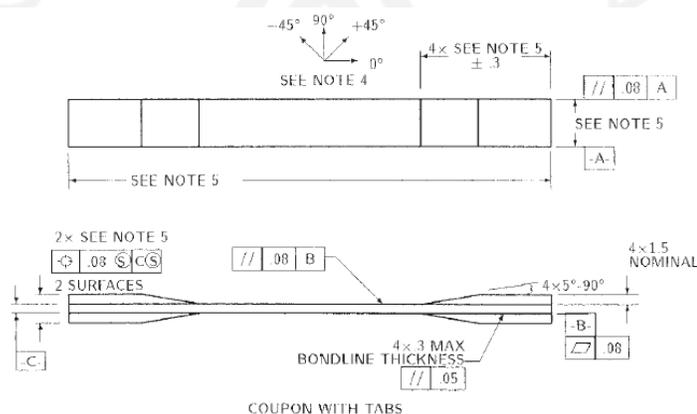
2. Kekakuan yang cukup tinggi dimana modulus elastisitasnya (E) sebesar 165.000 MPa.
3. Tidak mengalami korosi karena terbuat dari bahan non logam.
4. Mempunyai penampang yang kecil dan sangat ringan dengan berat $1,5 \text{ g/cm}^3$.
5. Ketahanan kimia tinggi, dapat menahan getaran dan kecepatan rambat panas yang rendah serta mudah dalam pemasangannya.

Pengujian kuat tarik CFRP dilakukan dengan pedoman dari ASTM *Designation D 3039/D 3039 M-00 2000 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Material*. Berdasarkan ASTM dijelaskan mengenai ketentuan untuk ukuran CFRP yang akan diuji, ketentuan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3. 6 di bawah ini.

Tabel 3.1 Ketentuan Ukuran Spesimen

Arah Serat	Lebar (mm)	Panjang Keseluruhan (mm)	Tebal (mm)	Panjang Tab (mm)
0° searah	15	250	1	56
90° searah	25	175	2	25
Seimbang dan simetris	25	250	2,5	-
Tidak beraturan	25	250	2,5	-

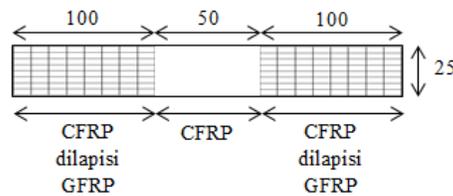
Sumber : ASTM D 3039/D 3039 M-00 2000



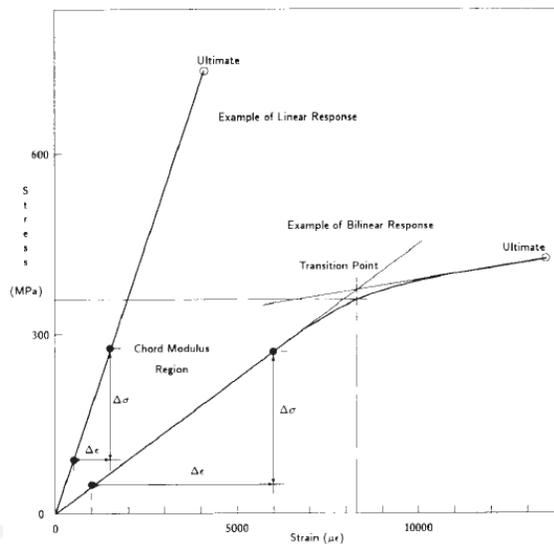
Gambar 3.6 Ketentuan Ukuran Spesimen

(Sumber : ASTM D 3039/D 3039 M-00 2000)

Material *tab* yang paling sering digunakan pada bagian *grip* spesimen CFRP uji ialah GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) yang dilapisi lagi oleh resin (*epoxy*). Maka, jika dituangkan ke dalam sebuah gambar, maka spesimen CFRP yang akan dilakukan pengujian tarik akan menjadi seperti Gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.7 Ukuran Spesimen CFRP Uji



Gambar 3.8 Grafik Tegangan-Regangan CFRP

(Sumber : ASTM D 3039/D 3039 M-00 2000)

Jika pengujian tarik dari spesimen CFRP berhasil, maka kurva atau grafik hubungan tegangan dan regangan CFRP akan berbentuk seperti Gambar 3.8 di atas. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa pada umumnya hasil pengujian CFRP tidak memiliki titik leleh, melainkan langsung mengalami peristiwa putus. Kurva tersebut membentuk sebuah garis lurus atau mendekati lurus yang dimulai dari nol ketika pembebanan dimulai dan hingga akhirnya berhenti pada pembebanan maksimum atau ultimit ketika benda uji CFRP mengalami putus.

3.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton pada penelitian ini dilakukan dengan sumber SNI 03-2843-2000. Berikut adalah tahapan perencanaan campuran beton (*mix design*).

1. Kuat tekan rencana

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung menurut rumus berikut.

$$f_{cr} = f_c' + M \quad (3.5)$$

dimana :

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.6)$$

dengan :

f_{cr} = kuat tekan rata-rata rencana (mPa)

f_c' = kuat tekan rencana (mPa)

M = nilai tambah

1,64= tetapan statistik

S_r = deviasi standar rencana

Nilai deviasi standar rencana dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber : SNI 03-2834-2000

Dengan catatan untuk jumlah benda uji kurang dari 15 buah, maka nilai f_{cr} tidak kurang dari $(f_c' + 12)$ MPa.

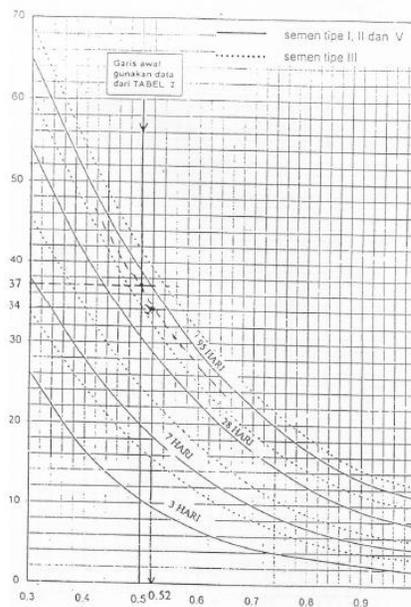
2. Faktor air semen (FAS)

Hubungan kuat tekan dan faktor air semen dapat ditentukan dengan meninjau Tabel 3.3 dan grafik Gambar 3.9 berikut.

Tabel 3.3 Perkiraan Kekuatan Tekan

Jenis semen ...	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe 1	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan Batu pecah	25	31	46	53	Kubus
		30	40	53	60	

Sumber : SNI 03-2834-2000



Gambar 3.9 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

3. Kadar air bebas

Nilai *slump* ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, dipadatkan, dan diratakan. Kemudian, kadar air bebas dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.7)$$

dengan :

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Untuk nilai W_h dan W_k dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³)

Shump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	---	---	---	---
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 03-2834-2000

4. Kadar semen

Kadar semen dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{faktor air semen}} \quad (3.8)$$

Kemudian menentukan syarat jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum. Jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang ditentukan, maka faktor air semen harus diperhitungkan kembali.

Tabel 3.5 Persyaratan Minimum Jumlah Semen dan Nilai FAS Maksimum

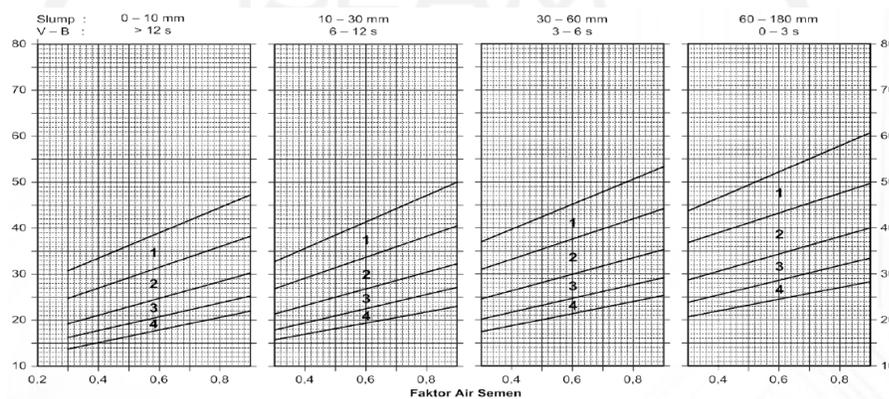
Lokasi	Jumlah Semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum

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		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

Sumber : SNI 03-2834-2000

5. Kadar agregat halus

Kadar agregat halus ditentukan dalam nilai persentase berdasarkan data *slump* dan FAS, serta memperhatikan daerah gradasi dari butir agregat halus pula. Kemudian, persentase agregat halus tersebut dapat ditentukan dengan bantuan grafik pada Gambar 3.10 berikut.

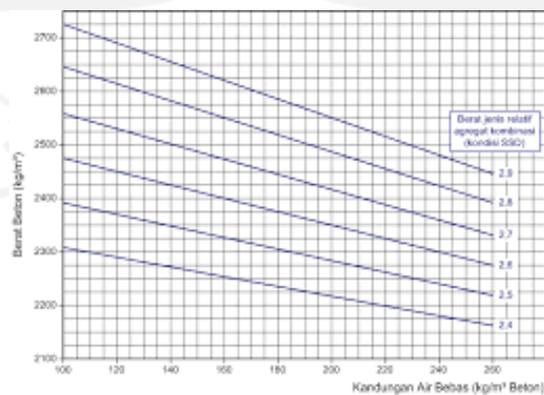


Grafik 5 : Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 40 mm

Gambar 3.10 Grafik Persentase Agregat Halus
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

6. Berat isi beton

Berat isi beton ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 3.11 berikut sesuai dengan kadar air bebas dan berat jenis relatif dari agregat gabungan.



Grafik 3 Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat campuran dan Berat Isi Beton

Gambar 3.11 Grafik Berat Isi Beton
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

7. Komposisi material

Setelah diketahui berat air dan berat semen yang digunakan serta berat isi beton, maka dapat diketahui berat agregat gabungan. Sehingga, dari nilai persentase dan berat yang sudah diketahui, maka diperoleh berat masing-masing material atau komponen penyusun beton dalam 1 m³ campuran beton.

3.4 Tegangan Lekatan

Tegangan lekatan merupakan peristiwa saling geser (*shear interlock*) antara elemen tulangan dan beton di sekitarnya yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor lain. Efek ini dapat dinyatakan sebagai tegangan geser per satuan luas permukaan tulangan. Tegangan langsung ini ditransformasikan dari beton ke permukaan tulangan, sehingga mengubah tegangan tarik tulangan di seluruh panjangnya (Nawy, 1985).

Kekuatan lekatan bergantung pada faktor-faktor utama sebagai berikut.

1. Adhesi antara elemen beton dan bahan penguatnya yang berupa tulangan.
2. Efek *gripping* sebagai akibat dari susut pengeringan beton di sekeliling tulangan dan saling geser antara tulangan dengan beton di sekitarnya.
3. Tahanan gesekan (friksi) terhadap gelincir dan saling mengunci pada saat tulangan mengalami tegangan tarik.
4. Efek kualitas beton serta kekuatan tarik dan tekannya.
5. Efek mekanis atau penjangkaran ujung tulangan, yaitu dengan panjang penyaluran, panjang lewatan, bengkokan tulangan, dan persilangan tulangan.
6. Diameter, bentuk, dan jarak tulangan karena mempengaruhi pertumbuhan retak.

Ada beberapa jenis percobaan atau pengujian yang dapat menentukan kualitas lekatan elemen tulangan, salah satunya yang paling sederhana ialah pengujian *pull out*. Pengujian *pull out* dapat memberikan perbandingan yang baik antara efisiensi lekatan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penanamannya. Dalam pengujian ini, beton mengalami tekan dan tulangan mengalami tarik dimana tulangan dan beton di sekelilingnya mengalami tegangan yang sama.

Keruntuhan lekatan antara tulangan dan beton yang dapat terjadi pada saat pelaksanaan pengujian biasanya ditunjukkan oleh salah satu atau lebih peristiwa di bawah ini (Nuryani, 2005).

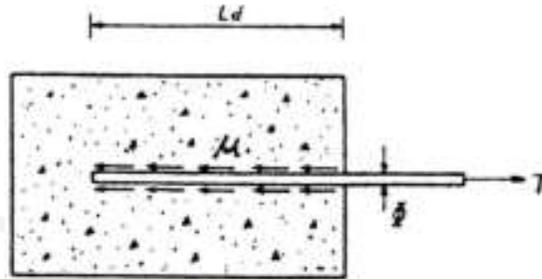
1. *Transverse failure*, yaitu adanya retakan pada beton arah melintang akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton. Keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara tulangan dan beton.
2. *Splitting failure*, yaitu adanya retakan pada beton arah memanjang akibat tegangan radial geser yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton. Keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara tulangan dan beton.
3. *Pull out failure/slip*, yaitu kondisi dimana tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan komponen tegangan feses memecah lekatan antara tulangan dengan beton.
4. Tulangan mencapai leleh, yaitu apabila tulangan meleleh diikuti dengan kontraksi pada tulangan yang mengakibatkan tidak berfungsinya lekatan terhadap beton yang mengelilinginya, sehingga akan menurunkan atau bahkan hilangnya daya lekatan antara baja tulangan dan beton.

Pengujian *pull out* yang akan dilakukan guna untuk mencari tahu lekatan CFRP terhadap beton, sehingga rumus di bawah ini telah disesuaikan dengan jenis material yang akan diuji. Berikut ini adalah rumus untuk gaya yang dapat ditahan oleh lekatan sepanjang panjang penanaman dan ilustrasi penanaman tulangan dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.

$$\mu = \frac{P_u}{(2 \times l_d \times b_t)} \quad (3.9)$$

dimana :

- μ = tegangan lekat antara tulangan dengan beton (MPa)
- P_u = gaya tarik yang terjadi (N)
- l_d = panjang penanaman (mm)
- b_t = lebar tulangan (mm)



Gambar 3.12 Tegangan Lekat Penanaman Tarik

(Sumber : Tumiwa dkk, 2016)

3.5 Berat Volume Beton

Definisi berat volume atau berat isi beton (*unit weight*) berdasarkan SNI 1973-2008 ialah perbandingan antara berat suatu benda per satuan volume benda tersebut. Berat volume dapat dirumuskan sebagai berikut. Berat isi teoritis beton biasanya ditentukan di laboratorium yang nilainya diasumsikan tetap untuk semua campuran yang dibuat dengan komposisi dan bahan yang identik. Berat isi teoritis beton (kg/m^3)

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.10)$$

dengan :

D = berat volume (kg/m^3)

m = berat benda (kg)

V = volume benda (m^3)

Menurut *American Concrete Institute* (ACI), beton dapat diklasifikan berdasarkan berat volumenya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Klasifikasi Beton Berdasarkan Berat Volume

Klasifikasi	Berat Volume Beton (kg/m^3)
Beton ultra ringan	300 – 1100
Beton ringan	1100 – 1600
Beton ringan struktural	1450 – 1900
Beton normal	2100 -2550
Beton berat	2900 - 6100

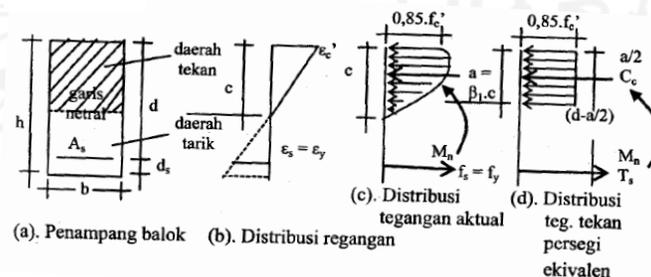
Sumber : Octaviani, dkk (2016)

Salah satu kelebihan CFRP yang berkaitan dengan berat ialah CFRP memiliki berat yang cukup ringan yaitu berkisar antara $1,4 - 2,4 \text{ g/cm}^3$ yang mana hal ini membuat CFRP 4 – 6 kali lebih ringan dari baja. Selain itu, CFRP juga memiliki kuat tarik yang tinggi yaitu sebanding dengan 7 – 10 kali lebih tinggi dari baja U39 (Hartono dan Sentosa, 2003 dalam Christiawan, 2009).

3.6 Kuat Lentur Beton

Beban-bahan yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi maupun beban-bahan lain, seperti beban angin, atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya regangan luar (Nawy, 1985).

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Proses desain yang mencakup pemilihan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan pemenuhan syarat terhadap lentur, kecuali untuk komponen struktur yang khusus seperti pondasi. Setelah itu, faktor-faktor lain seperti kapasitas geser, defleksi, retak, dan panjang penyaluran tulangan dianalisis sampai memenuhi persyaratan. Ilustrasi distribusi regangan dan tegangan untuk balok tulangan tunggal, dapat dilihat pada Gambar 3.13 di bawah ini.



Gambar 3.13 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Tunggal
(Sumber : Asroni, 2010)

Keterangan notasi pada Gambar 3.13 di atas adalah sebagai berikut.

- a = tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (mm)
- A_s = luas tulangan tarik (mm^2)
- b = lebar penampang balok (mm)
- c = jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan (mm)
- C_c = gaya tekan beton (kN)
- d = tinggi efektif penampang balok (mm)
- d_s = jarak antara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik (mm)
- E_s = modulus elastisitas baja tulangan (200.000 MPa)
- f_c' = tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari (MPa)
- f_s = tegangan tarik baja tulangan (MPa)
- f_y = tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh (MPa)
- h = tinggi penampang balok (mm)
- M_n = momen nominal aktual (kNm)
- T_s = gaya tarik baja tulangan (kN)
- β_1 = faktor pembentuk blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang nilainya bergantung pada mutu beton
- ϵ_c' = regangan tekan beton, dengan ϵ_c' maksimal (ϵ_{cu}') = 0,003
- ϵ_s = regangan tarik baja tulangan
- ϵ_y = regangan tarik baja tulangan pada saat leleh

Pada perencanaan beton bertulang, diusahakan kekuatan beton dan baja agar dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya. Untuk beton, karena sangat kuat menahan beban tekan, maka dimanfaatkan kuat tekan beton jangan sampai melebihi batas runtuh pada regangan tekan beton maksimal, yaitu nilai $\epsilon_{cu}' = 0,003$. Sedangkan untuk baja tulangan Tarik yang tertanam di dalam beton, dapat dimanfaatkan kekuatan sepenuhnya sampai mencapai batas leleh, yaitu nilai tegangan Tarik baja (f_s) sama dengan tegangan leleh (f_y).

Gaya tekan beton dapat diperhitungkan dari hubungan tegangan-regangan beton pada Gambar 3.12. Karena gaya merupakan hasil kali antara tegangan dan luas penampangnya, maka dapat dihitung besar gaya tekan beton (C_c) sebagai berikut.

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b \quad (3.11)$$

Gaya tarik baja tulangan (T_s) dapat dihitung dengan cara membuat perkalian antara luas baja tulangan dengan tegangan lelehnya, yaitu sebagai berikut.

$$T_s = A_s \times f_y \quad (3.12)$$

Dari gambar distribusi tegangan-regangan di atas, dapat dilihat bahwa besar gaya tekan beton (C_c) sama dengan gaya tarik baja tulangan (T_s), dan kedua gaya tersebut berlawanan arah dengan jarak sebesar $(d - a/2)$. Arah gaya tekan beton (C_c) yang berada di sebelah atas ke kiri, sedangkan arah gaya tarik baja tulangan (T_s) yang berada di sebelah bawah ke kanan, sehingga membentuk momen kopel (disebut momen nominal aktual atau M_n). Momen ini dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$M_n = C_c \times (d - a/2) \quad \text{atau} \quad (3.13)$$

$$M_n = T_s \times (d - a/2) \quad (3.14)$$

Dari persamaan di atas, dapat diasumsikan bahwa nilai gaya tekan beton (C_c) sama dengan nilai gaya tarik baja tulangan (T_s), sehingga dapat diperoleh nilai tinggi blok tegangan tekan beton persegi (a) sebagai berikut.

$$C_c = T_s \quad (3.15)$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b = A_s \cdot f_y \quad (3.16)$$

Maka,

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \quad (3.17)$$

Kemudian, dilanjutkan dengan menghitung nilai momen rencana (M_r).

$$M_n = T_s \times (d - a/2) \quad (3.18)$$

$$M_r = \phi \times M_n \quad (3.19)$$

Dimana nilai faktor reduksi kuat lentur (ϕ) diperoleh dengan menghitung nilai ϵ_t yaitu nilai regangan dari tulangan terluar.

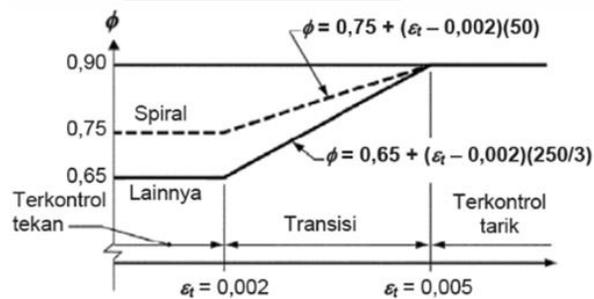
$$\epsilon_t = \frac{d_t - c}{c} \times 0,003 \quad (3.20)$$

dengan :

ϵ_t = nilai regangan tulangan terluar

d_t = jarak antara titik berat tulangan tarik terluar dan tepi serat beton tarik (mm)

c = jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan (mm)



Gambar 3.14 Faktor Reduksi Kuat Lentur

(Sumber : SNI 2847:2013)

Pada perencanaan beton bertulang, regangan tekan beton (ϵ_c') sebesar 0,003.

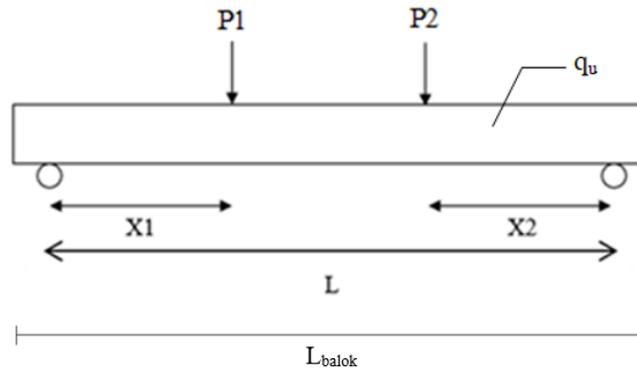
$$\frac{\epsilon_c'}{c} = \frac{\epsilon_y}{d-c} \quad (3.21)$$

$$\epsilon_c' = \frac{c}{d-c} \times \epsilon_y \quad \text{atau} \quad (3.22)$$

$$\epsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 \times d - a} \times \epsilon_y \quad (3.23)$$

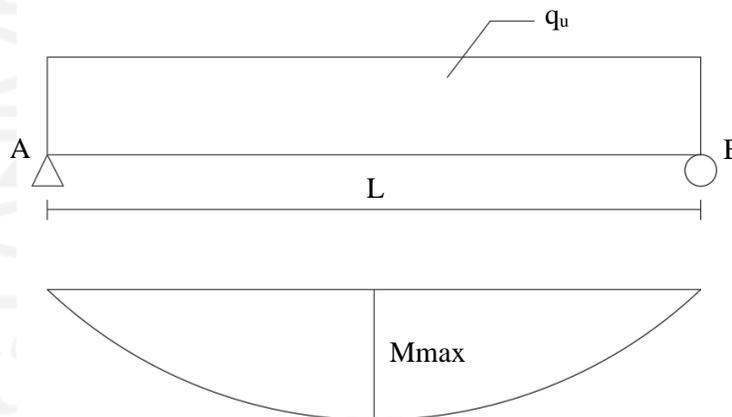
Dimana nilai regangan tekan beton (ϵ_c') harus lebih kecil dari 0,003.

Pada pengujian yang dilaksanakan, *setting up* benda uji untuk pengujian kuat lentur balok akan tampak seperti pada Gambar 3.15 di bawah ini.



Gambar 3.15 Pembebanan Benda Uji Balok Beton

Gambar 3.16 berikut ini menunjukkan *bending moment diagram* dari beban merata atau gaya akibat beban sendiri yang bekerja pada balok beton.



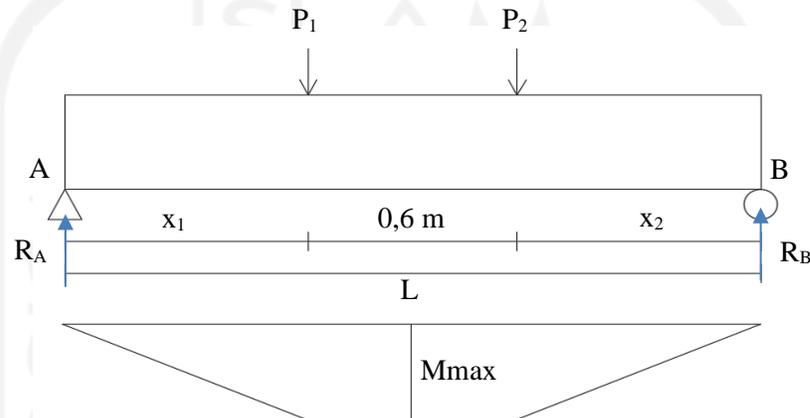
Gambar 3.16 Bending Moment Diagram dari Gaya Akibat Beban Sendiri

Sehingga, untuk menghitung nilai momen maksimum dari gaya yang bekerja seperti gambar di atas, digunakan rumus seperti pada persamaan 3.24 ini.

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \times q_u \times L^2 \quad (3.24)$$

$$q_u = \frac{W}{L_{\text{balok}}} \quad (3.25)$$

Sedangkan pada Gambar 3.17 ini menunjukkan *bending moment diagram* dari gaya yang bekerja pada saat pengujian.

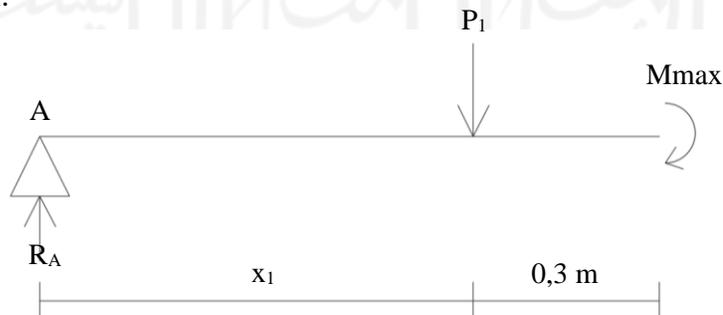


Gambar 3.17 Bending Moment Diagram dari Gaya Akibat Pengujian

Dari gambar di atas, diperoleh rumus untuk memperoleh nilai R_A ialah seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.26 di bawah ini.

$$R_A = \frac{(P_1 \times (L - x_1)) + (P_2 \times x_2)}{L} \quad (3.26)$$

Untuk memperoleh nilai momen maksimal dari gaya akibat pengujian ini akan dijelaskan dengan gambar *free body diagram* seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.18 berikut ini.



Gambar 3.18 Free Body Diagram dari Gaya Akibat Pengujian

Dari penjelasan gambar di atas, maka untuk rumus momen maksimal (M_{max}) dari gaya akibat pengujian dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$M_{max} = (R_A \times (x_1 + 0,3)) + (P_1 \times 0,3) \quad (3.27)$$

Sehingga, rumus akhir momen maksimal (M_{max}) untuk pengujian yang dilakukan dapat dihitung dengan persamaan 3.28 di bawah ini.

$$M_{max} = \left(\frac{1}{8} \times q_u \times L^2\right) + [(R_A \times (x_1 + 0,3)) + (P_1 \times 0,3)] \quad (3.28)$$

dengan :

$P_1 = P_2$ = beban maksimum dari hasil pengujian (kN)

q_u = beban merata (kN/m)

W = berat balok (kN)

x_1 = jarak dari tumpuan ke titik pembebanan sebelah kiri (m)

x_2 = jarak dari tumpuan ke titik pembebanan sebelah kanan (m)

L = jarak dari tumpuan kiri ke tumpuan kanan (m)

L_{balok} = jarak fisik balok (m)

R_A = reaksi di titik A (kN)

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian atau metode ilmiah adalah prosedur atau langkah-langkah dalam mendapatkan pengetahuan ilmiah atau ilmu dengan cara mengambil, menganalisis, dan mengidentifikasi variabel penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium.

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh seorang peneliti dengan tujuan untuk dipelajari sehingga didapatkan informasi mengenai hal tersebut dan dapat ditarik sebuah kesimpulan. Terdapat dua buah variabel pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

1. Variabel bebas (*independent variable*) ialah panjang tulangan CFRP pada pengujian *pull out* serta kebutuhan tulangan CFRP dan baja.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) berupa nilai kuat tarik material, nilai kuat tarik pengujian *pull out*, nilai berat balok beton, dan nilai kuat lentur balok beton.

4.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mempermudah dalam melakukan analisis penggunaan CFRP sebagai bahan pengganti tulangan terhadap kuat lentur beton. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data primer

Dalam penelitian ini, data primer yang dimaksud ialah data yang diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan. Data tersebut berupa data-data pembebanan maksimum yang tercatat dalam setiap pengujian, lama waktu pembebanan yang dilakukan, dan data berat balok beton.

2. Data sekunder

Data sekunder ialah sumber data yang diperoleh melalui media perantara atau secara tidak langsung yang berupa buku, catatan, bukti yang telah ada, atau arsip baik yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan secara umum. Pada penelitian ini, data sekunder yang digunakan berupa Standar Nasional Indonesia (SNI), *American Standard Test Method* (ASTM), dan jurnal-jurnal penelitian yang berkaitan dengan penelitian seperti spesifikasi bahan penyusun beton, tata cara pengujian, serta teori pembahasan penelitian.

4.4 Bahan-Bahan yang Digunakan

Sebelum memulai pelaksanaan penelitian, bahan yang akan digunakan dipersiapkan terlebih dahulu agar pelaksanaan dapat berjalan dengan lancar. Bahan yang digunakan pada pembuatan benda uji ialah sebagai berikut.

1. Bahan-bahan beton

- a. Semen *Portland* yang digunakan adalah Semen Gresik dengan ukuran 1 sak atau 40 kg.
- b. Pasir atau agregat halus dan kerikil atau agregat kasar yang diperoleh dari Gunung Merapi.
- c. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

2. Bahan untuk tulangan

- a. Baja tulangan dengan ukuran P6 dan P10 yang diperoleh dari Toko Bangunan Wahyu Jaya, Sleman, Yogyakarta
- b. Serat karbon dengan tebal 0,3 mm, lebar 1500 mm, dan panjang 2000 mm yang diperoleh dari Karyatama *Garage*, Yogyakarta, Indonesia.
- c. Paket resin (resin dan katalis) yang diperoleh dari Karyatama *Garage*, Yogyakarta, Indonesia.
- d. Serat karbon dilapisi oleh resin hingga membentuk CFRP dengan ukuran tebal 2,4 mm, lebar 30 mm, dan panjang 1920 mm.

4.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Mixer* atau pengaduk beton, berfungsi untuk mengaduk campuran beton.
2. Cetakan atau bekisting dengan ukuran panjang 2000 mm, tinggi 200 mm, dan lebar 300 mm yang terbuat dari kayu.
3. Timbangan dengan kapasitas 20 kg.
4. Saringan dan *vibrator* saringan.
5. Cetakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
6. Cetakan kubus dengan ukuran setiap sisinya 15 cm.
7. Alat uji tekan silinder beton yaitu *Compression Testing Machine*.
8. *Crane* yang berfungsi sebagai alat mobilisasi benda uji.
9. *Load cell* digunakan untuk membaca beban yang dibebankan ke beton.
10. *Data logger* adalah mesin pembaca yang sekaligus menampilkan data dari pengujian yang dilakukan.
11. Karung basah untuk menutupi beton pada tahap perawatan beton.
12. Alat bantu lain seperti cangkul, sekop, cetok, wadah, ember, kuas, silinder ukur, oven, alat uji *slump*, palu, catut, dan lain sebagainya.

4.6 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Tahap I (Persiapan)

Pada tahap persiapan ini akan dilakukan persiapan dengan segala hal yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilaksanakan seperti berikut ini.

- a. Merancang dimensi beton serta tulangan yang akan digunakan. Perhitungan dimensi beton dan tulangan dilakukan dengan asumsi besar beban yang akan dipikul oleh benda uji.
- b. Mempersiapkan alat dan bahan penelitian

2. Tahap II (Pengujian Material)

Pada tahapan ini dilakukan pengujian dan pemeriksaan terhadap bahan penyusun beton, yaitu agregat halus, agregat kasar, tulangan baja, dan tulangan CFRP. Pengujian-pengujian yang akan dilakukan ialah sebagai berikut.

- a. Uji Berat Jenis Agregat Halus
- b. Uji Modulus Halus Butir Agregat Halus
- c. Uji Kandungan Lumpur Agregat Halus (Uji Lolos Saringan No. 200)
- d. Uji Berat Jenis Agregat Kasar
- e. Uji Modulus Halus Butir Agregat Kasar
- f. Uji Kuat Tarik Baja
- g. Uji Kuat Tarik *Carbon Fiber*
- h. Uji Kuat Tarik Resin
- i. Uji Kuat Tarik CFRP

3. Tahap III (Perhitungan Percobaan Rencana Campuran)

Tahap ini akan dilakukan perhitungan percobaan rencana campuran beton (*trial mix design*) menggunakan pedoman perhitungan dari SNI 03-2834-2000 dengan dasar hasil pengujian dari bahan penyusun beton yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya. Data perencanaan meliputi sebagai berikut.

- a. Kuat tekan rencana (f_c') sebesar 20 mPa.
- b. Semen yang digunakan adalah semen tipe I yaitu Semen Gresik.
- c. Tinggi *slump* yang disyaratkan adalah 14 – 15 cm.
- d. Ukuran butir agregat kasar maksimum 20 mm.
- e. Susunan butir agregat halus termasuk dalam daerah gradasi 2.

4. Tahap IV (Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Silinder Sampel)

Pada tahap ini dilakukan pembuatan 3 buah benda uji silinder sampel yang diberi kode secara berurutan SU1, SU2, dan SU3 dengan ukuran tinggi sebesar 30 cm dan diameter 15 cm. Benda uji silinder sampel ini digunakan untuk mengetahui nilai kuat desak (f_c') silinder beton, yang mana dapat menentukan apakah proporsi

campuran beton dari hasil *trial mix design* dapat digunakan untuk merencanakan *mix design* untuk komposisi campuran beton balok uji utama pengujian kuat lentur. Setelah dicetak dan ditunggu setelah 1 hari pembuatan silinder sampel ini dilakukan, silinder sampel dilepas dari cetakan. Kemudian, dilakukan perawatan beton selama ± 28 hari. Perawatan dilakukan dengan cara merendam seluruh permukaan silinder sampel di dalam air.

5. Tahap V (Pengujian dan Analisis Benda Uji Silinder Sampel)

Pengujian silinder sampel yang dilakukan ialah uji kuat tekan beton. Pengujian dibantu dengan alat *Compression Testing Machine* yang berada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Setelah dilakukan pengujian, kemudian dilakukan analisis terhadap data yang telah diperoleh dari hasil pengujian. Dalam analisis ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui kuat tekan beton dari beton uji sampel yaitu silinder beton. Data yang diperoleh berupa beban maksimum serta lama waktu pembebanan yang kemudian diolah dengan rumus tegangan tekan beton seperti persamaan 3.1. Setelah diolah, diperoleh hasil akhir berupa kuat tekan beton dari ketiga benda uji sampel. Kuat tekan yang dihasilkan akan dirata-ratakan dan nilai tersebut akan menjadi nilai kuat tekan beton hasil penelitian yang akan digunakan untuk analisis benda uji balok pada tahap selanjutnya.

6. Tahap VI (Perhitungan Rencana Campuran Utama)

Jika hasil dari analisis kuat tekan silinder sampel sudah sesuai dengan yang sudah direncanakan sebelumnya, maka proporsi campuran dari *trial mix design* dapat digunakan untuk perhitungan rencana campuran utama.

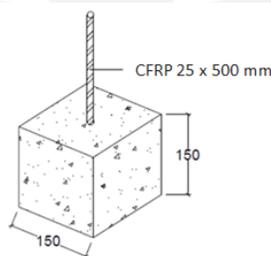
7. Tahap VII (Pembuatan Benda Uji Utama)

a. Benda uji kubus

Sebelum membuat benda uji kubus, dilakukan pembuatan CFRP terlebih dahulu. Serat karbon dengan ketebalan 0,3 mm dilapisi dengan campuran resin

(*epoxy*), dimana campuran resin dicampur katalis dengan perbandingan resin : katalis sebesar 10 : 1. Kemudian, di salah satu ujung bagian *grip* CFRP dilapisi lagi dengan GFRP sebagai *tab*. Setelah mengeras dan menjadi komponen CFRP, CFRP dipotong dengan ukuran lebar 25 mm dan panjang 500 mm.

Selanjutnya, benda uji kubus dibuat sebanyak 5 buah sampel yang mana secara berurutan diberi kode PO 1 , PO 2, PO3, PO 4, dan PO 5. Kubus ini memiliki ukuran masing-masing sisinya sebesar 15 cm. Lalu, CFRP yang telah siap diletakkan di bagian tengah kubus dan ditahan sembari memasukkan campuran beton hingga penuh. Kemudian diamkan benda uji kubus hingga mengeras. Benda uji kubus ini nantinya akan dilakukan pengujian *pull out*. Benda uji kubus *pull out* dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.

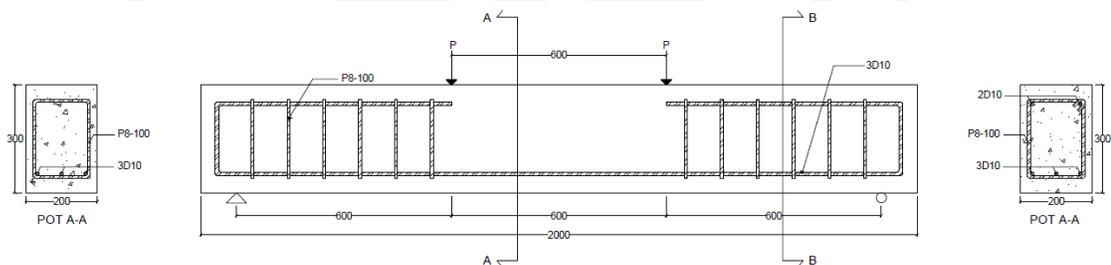


Gambar 4.1 Benda Uji Kubus

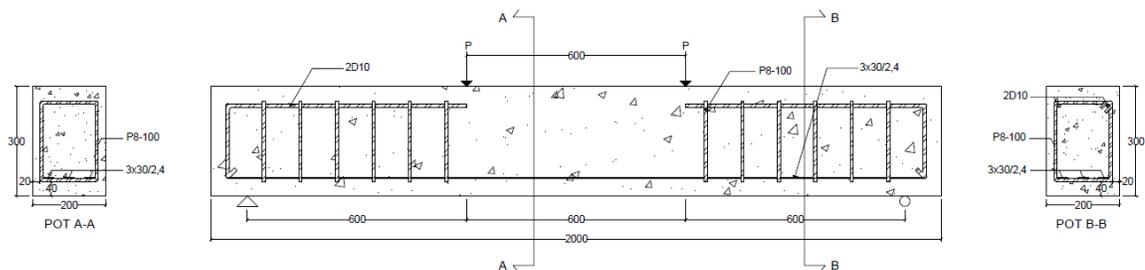
b. Benda uji balok

Sebelum membuat benda uji utama, terlebih dahulu melakukan pembuatan bekisting sebagai cetakan beton, membentuk CFRP sesuai ukuran, serta menyusun tulangan yang akan digunakan. Serat karbon dengan tebal 0,3 mm, lebar 1500 mm, dan panjang 2000 mm dibentuk hingga menjadi CFRP dengan ukuran tebal 2,4 mm, lebar 30 mm, dan panjang 1920 mm. Serat karbon dengan ketebalan 0,3 mm dilapisi oleh campuran resin (*epoxy*), dimana campuran resin terdapat perbandingan resin : katalis sebesar 10 : 1, di setiap lapisnya menggunakan metode *manual hand lay-up* sehingga diperoleh CFRP dengan ketebalan 2,4 mm. Selanjutnya, CFRP dipotong sesuai ukuran.

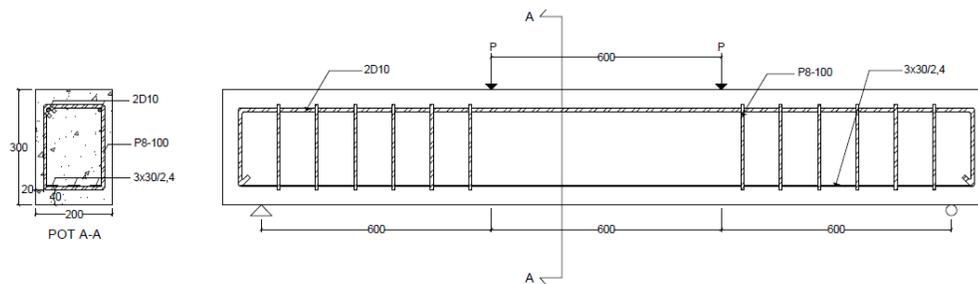
Kemudian, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji berupa 11 buah balok beton bertulang dengan ukuran $200 \times 300 \times 2000$ mm. Dimana 3 buah balok sebagai balok kontrol dengan tulangan tarik (baja) 3D10 yang diikat dengan tulangan sengkang, yang secara berurutan diberi kode BK1, BK2, BK3; 4 buah lainnya ialah balok uji dengan tulangan tarik (CFRP) yang diikat dengan tulangan sengkang, yang secara berurutan diberi kode BVI-1, BVI-2, BVI-3, dan BVI-4; dan 4 buah lainnya ialah balok uji dengan tulangan tarik (CFRP) dan tulangan tekan (baja) yang diikat dengan tulangan sengkang, yang secara berurutan diberi kode BVII-1, BVII-2, BVII-3, dan BVII-4. Benda uji berupa balok ini digunakan untuk mengetahui perbandingan kuat lentur antara balok beton kontrol dan balok beton variasi. Pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4 di bawah ini dapat dilihat sampel benda uji balok beton.



Gambar 4.2 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Kontrol (BK)



Gambar 4.3 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Variasi I (BVI)



Gambar 4.4 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Variasi II (BVII)

c. Benda uji silinder

Pembuatan benda uji silinder ini dilakukan sebanyak 3 buah di setiap masing-masing sampel balok uji dengan menggunakan campuran adukan beton yang sama dengan sampel balok uji tersebut. Silinder memiliki ukuran tinggi sebesar 30 cm dan diameter sebesar 15 cm. Silinder uji ini dibuat untuk mengetahui nilai kuat tekan (f_c') dari masing-masing sampel balok uji beton utama.

8. Tahap V (Perawatan Benda Uji)

Pada tahapan ini akan dilakukan perawatan benda uji. Untuk benda uji kubus, setelah 24 jam dicetak, bekisting akan dilepas lalu diberi kode, yang kemudian akan dilakukan perawatan dengan cara merendam seluruh permukaan kubus uji selama ± 28 hari. Setelah 3 hari balok beton dicetak, bekisting akan dibuka kemudian akan diberikan kode untuk setiap benda uji, kemudian perawatan dilakukan dengan cara menutup beton dengan karung basah selama ± 28 hari. Sedangkan untuk silinder beton, setelah 24 jam dicetak, bekisting akan dibuka, diberi kode untuk setiap silinder, kemudian dirawat dengan cara yang sama dengan balok uji yaitu ditutupi karung basah selama ± 28 hari.

9. Tahap VI (Pengujian Utama)

Pada tahapan ini dilakukan beberapa pengujian utama. Benda uji kubus akan dilakukan pengujian *pull out* dengan mesin Hung-Ta : *Tensile Compression*. Benda uji balok dilakukan pengujian terhadap kuat lentur beton dan berat balok beton untuk seluruh balok uji yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan

beban vertikal berupa beban terpusat ganda (*two point loads*). Untuk beton silinder sampel dilakukan pengujian kuat tekan beton dengan mesin *Compression Testing Machine*.

10. Tahap VII (Analisis Data)

Tahapan ini merupakan analisis data-data dari hasil pengujian terhadap benda uji yang telah dilaksanakan sebelumnya kemudian dibuat pembahasan yang lebih detail.

a. Analisis tegangan lekat

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian *pull out* berupa beban maksimum yang dapat ditahan dan lama waktu pembebanan, dapat dilakukan pengolahan data dengan persamaan 3.9. Analisis dilakukan untuk menghitung nilai tegangan lekatan sehingga diketahui bagaimana perilaku lekatan CFRP terhadap beton.

b. Analisis kuat tekan beton

Dalam analisis ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui kuat tekan beton dari beton uji sampel yaitu silinder beton. Data yang diperoleh berupa beban maksimum serta lama waktu pembebanan yang kemudian diolah dengan rumus tegangan tekan beton seperti persamaan 3.1. Setelah diolah, diperoleh hasil akhir berupa kuat tekan beton dari ketiga benda uji sampel. Nilai kuat tekan ini lalu dirata-ratakan dan menjadi nilai kuat tekan beton hasil penelitian yang akan digunakan untuk analisis benda uji balok pada tahap selanjutnya.

c. Analisis berat balok beton

Benda uji utama berupa balok beton sebelum diuji, dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat dari masing-masing balok. Kemudian dianalisis dengan cara dibandingkan berat balok uji dengan berat balok kontrol, sehingga data yang akan dibahas adalah perbandingan berat dari masing-masing balok.

d. Analisis kuat lentur beton

Setelah mengolah data berupa menguji benda uji utama yang berupa balok beton, diperoleh data beban maksimum yang dapat ditahan oleh masing-

masing benda uji. Kemudian dilakukan analisis berupa menghitung nilai kuat lentur beton, sehingga data yang akan dibahas berupa perbandingan kuat lentur dari masing-masing beton uji.

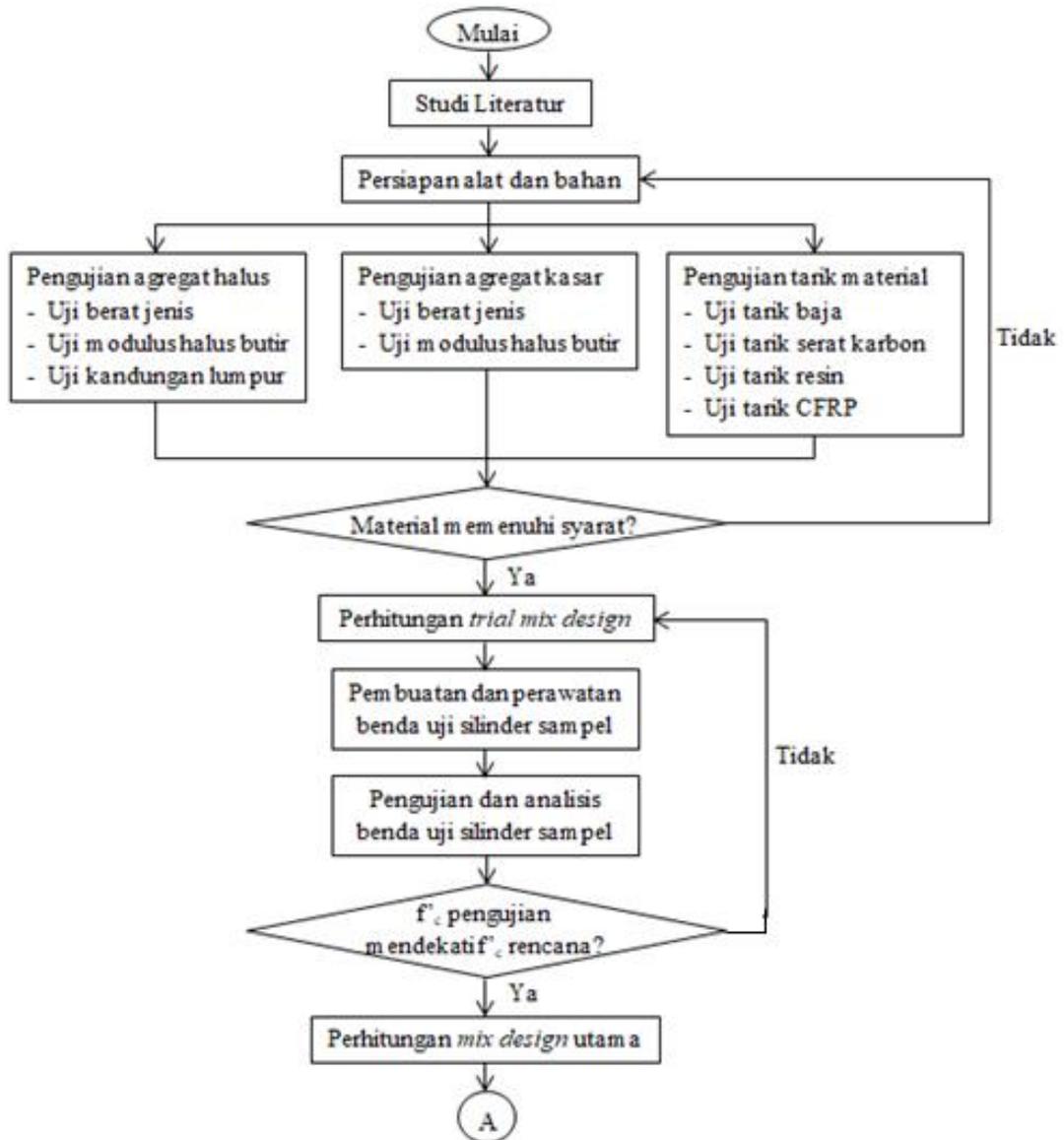
11. Tahap VIII (Penyusunan Laporan)

Pada tahapan ini, pembahasan yang telah dibuat akan disusun ke dalam sebuah laporan kemudian dilanjutkan dengan menarik suatu kesimpulan serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya. Kesimpulan diambil dengan membandingkan hasil penelitian dengan parameter-parameter tertentu, seperti yang disebutkan di bawah ini.

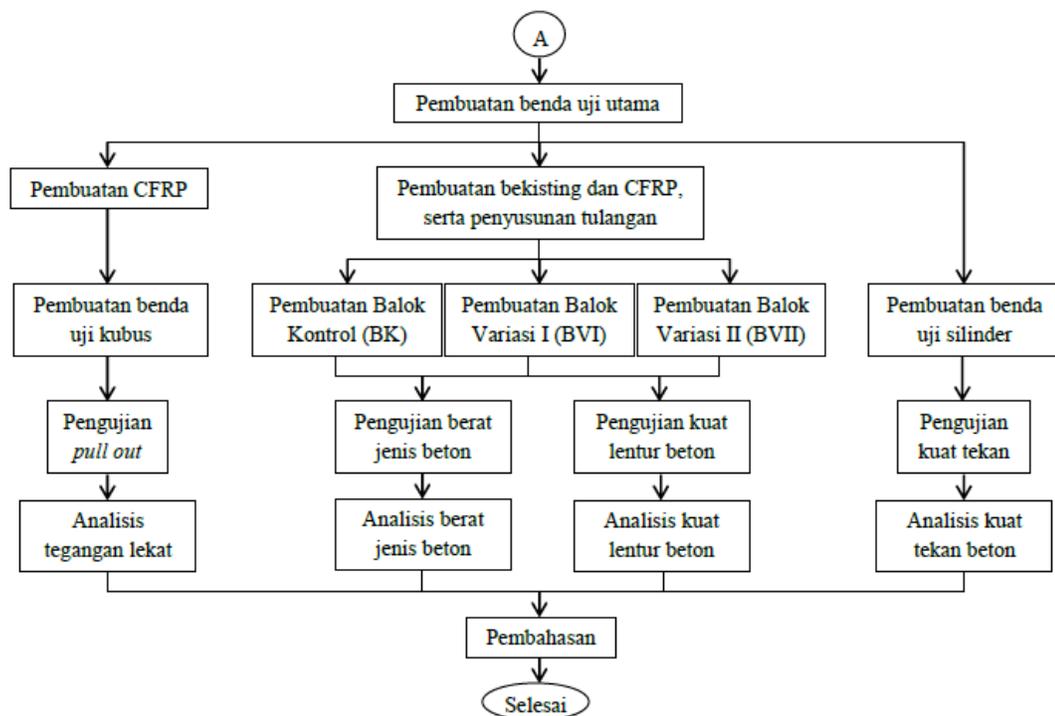
- a. Nilai kuat tarik pada pengujian kuat tarik material baja, *carbon fiber*, resin, dan CFRP.
- b. Nilai tegangan lekat dan metode keruntuhan lekatan CFRP terhadap beton pada pengujian *pull out*.
- c. Nilai berat volume balok kontrol dan balok variasi pada pengujian berat volume balok beton.
- d. Nilai kuat lentur balok kontrol dan balok variasi pada pengujian kuat lentur balok beton.

Tahap ini merupakan tahapan terakhir dari penelitian yang dilakukan.

Selanjutnya, tahapan tersebut ditampilkan dalam sebuah *flow chart* untuk memudahkan pemahaman tahapan penelitian yang akan dilaksanakan. *Flow chart* dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Flow Chart Penelitian



Lanjutan Gambar 4.5 *Flow Chart* Penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

Bahan penyusun beton yang selanjutnya disebut material sebelumnya perlu diuji terlebih dahulu untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari masing-masing material tersebut. Selain itu, pengujian ini juga diperlukan untuk mencari tahu apakah material tersebut memenuhi syarat untuk campuran beton (*mix design*).

5.1.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan untuk agregat halus dalam penelitian ini antara lain, uji berat jenis dan penyerapan, uji berat volume padat/gembur, uji modulus halus butir, dan uji kandungan lumpur (uji lolos saringan No.200).

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Hasil pengujian dan analisis berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian	Hasil
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1176
Berat piknometer berisi air, gram (B)	861
Berat jenis curah $Bk / (B + 500 - Bt)$	(1) 2,632
Berat jenis jenuh kering muka $500 / (B + 500 - Bt)$	(2) 2,703
Berat jenis semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	(3) 2,831
Penyerapan air, % $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$	(4) 2,67%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh nilai berat jenis kering muka (SSD) agregat halus sebesar 2,703. Nilai berat jenis kering muka (SSD) ini selanjutnya akan digunakan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*). Selain itu, diperoleh juga rasio penyerapan air agregat halus sebesar 2,67%.

2. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

Hasil pengujian dan analisis modulus halus butir agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

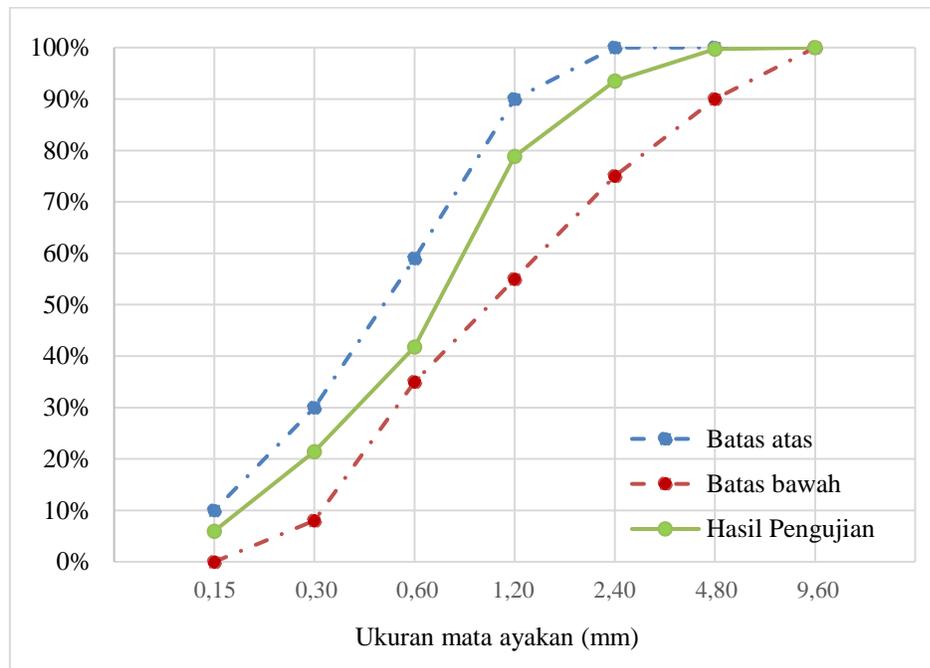
Tabel 5.2 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0,00	0,00	100,00
4,8	6	0,3020	0,3020	99,6980
2,4	123	6,1902	6,4922	93,5078
1,2	291	14,6452	21,1374	78,8626
0,6	737	37,0911	58,2285	41,77115
0,3	404	20,3322	78,5606	21,4394
0,15	307	15,4504	94,0111	5,9889
Sisa	119	5,9889	100	0
Jumlah	1987	100	258,7318	-

Berdasarkan data dari Tabel 5.2 di atas, maka dapat dihitung nilai modulus halus butir sebagai berikut.

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{258,7318}{100} = 2,5873$$

Hasil pengujian MHB ini digunakan untuk menentukan daerah gradasi untuk agregat halus. Gradasi yang dihasilkan dari pengujian MHB, agregat halus berada dalam batas yang disyaratkan, yaitu pada gradasi daerah II, yang mana agregat halus merupakan pasir agak kasar. Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh kurva gradasi agregat halus seperti Gambar 5.1 di bawah ini yang di plot dalam gradasi pasir (sedang) II sesuai dengan SNI 03-2834-2000.



Gambar 5.1 Grafik Analisis Saringan Agregat Halus

3. Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus (Uji Lolos Saringan No. 200)

Hasil pengujian dan analisis kandungan lumpur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Agregat Kering Oven, gram (w1)	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, gram (w2)	492
Berat yang Lolos Ayakan No. 200, % [(w1 – w2) / w1] × 100%	1,60%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh nilai kandungan lumpur yang terkandung pada agregat halus sebesar 1,60%. Dimana agregat halus ini telah memenuhi persyaratan dari PBI 1971 karena tidak melewati batas maksimal kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus, yaitu sebesar

5%. Agregat yang lolos saringan no. 200 cenderung berbentuk bulat (lumpur) yang membuat *interlocking* antar agregat kurang maksimal. Maka, semakin tinggi kadar lumpurnya, maka kualitas beton yang dihasilkan akan semakin rendah.

5.1.2 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan untuk agregat kasar dalam penelitian ini antara lain, uji berat jenis serta penyerapan dan uji modulus halus butir. Berikut ini adalah hasil dari pengujian yang telah dilakukan.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Hasil pengujian dan analisis berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian		Hasil
Berat kerikil kering mutlak, gram	(Bk)	4913
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	(Bj)	5000
Berat kerikil dalam air, gram	(Ba)	3094
Berat jenis curah $Bk / (Bj - Ba)$	(1)	2,5776
Berat jenuh kering muka $Bj / (Bj - Ba)$	(2)	2,6233
Berat jenis semu $Bk / (Bk - Ba)$	(3)	2,7009
Penyerapan air, % $(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$	(4)	1,77%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh nilai berat jenis kering muka (SSD) agregat kasar sebesar 2,6233. Nilai berat jenis kering muka (SSD) ini selanjutnya akan digunakan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*). Selain itu, diperoleh juga rasio penyerapan air agregat kasar sebesar 1,77%.

2. Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Hasil pengujian dan analisis modulus halus butir agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

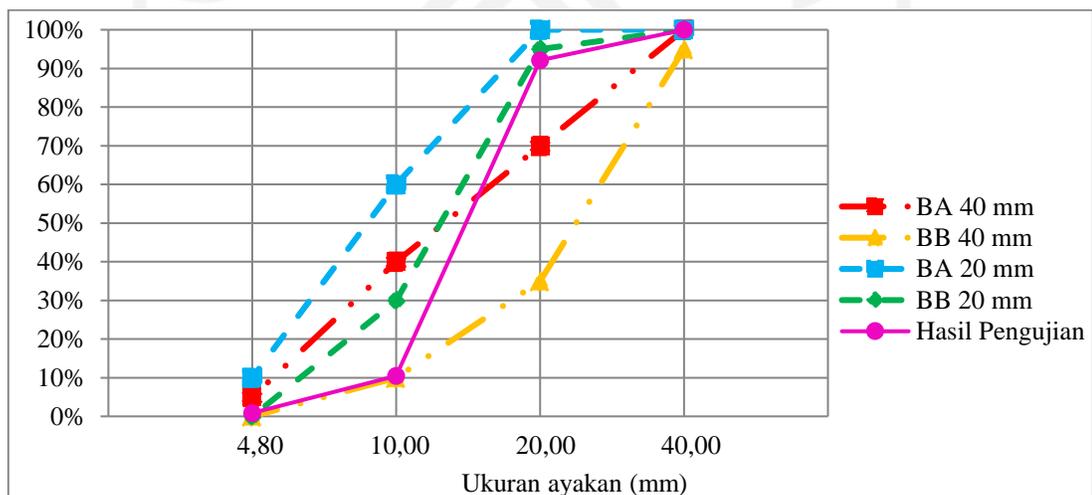
Tabel 5.5 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	392	7,9192	7,9192	92,0808
10	4039	81,5960	89,5152	10,4848
4,80	476	9,6162	99,1313	0,8687
2,40	3	0,0606	99,1919	0,8081
1,20	1	0,0202	99,2121	0,7879
0,60	0	0	99,2121	0,7879
0,30	0	0	99,2121	0,7879
0,15	0	0	99,2121	0,7879
Sisa	39	0,7879	100	0
Jumlah	4950	100	692,6061	-

Berdasarkan data dari Tabel 5.5 di atas, maka dapat dihitung nilai modulus halus butir sebagai berikut.

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{692,6061}{100} = 6,9260$$

Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh kurva gradasi agregat kasar seperti Gambar 5.2 di bawah ini yang di plot dalam gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 20 mm dan 40 mm sesuai dengan SNI 03-2834-2000.



Gambar 5.2 Grafik Analisis Saringan Agregat Kasar

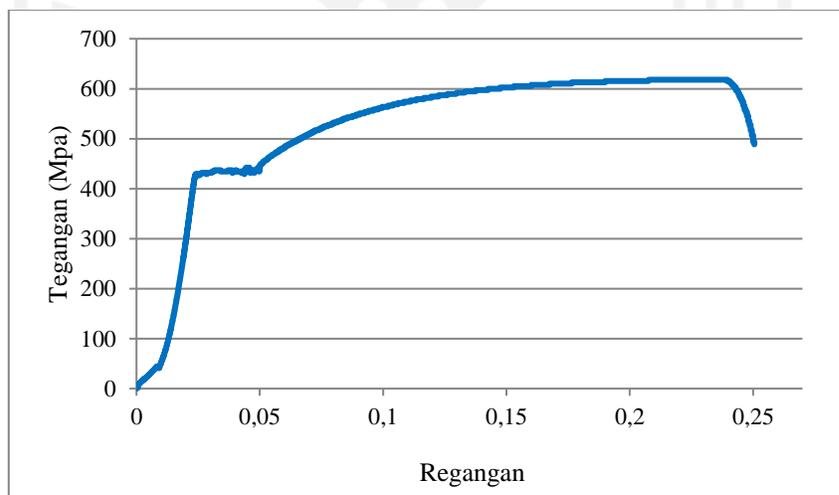
Pada gambar di atas menunjukkan bahwa grafik hasil pengujian terdapat titik yang tidak masuk ke dalam area batas. Namun, setelah dilakukan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa agregat hasil pengujian lebih masuk ke dalam daerah gradasi agregat dengan ukuran maksimum 20 mm daripada gradasi agregat ukuran maksimum 40 mm. Sehingga, dapat diasumsikan bahwa agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran agregat maksimum sebesar 20 mm.

5.1.3 Pengujian Baja

Pengujian yang dilakukan untuk tulangan baja adalah uji tarik yang dilakukan dengan bantuan mesin Hung-Ta : *Tensile Compression*. Ukuran dari tulangan baja yang digunakan ialah P6 dan P10.

1. Pengujian Tarik Baja P6

Hasil uji tarik baja P6 ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang tertera pada Gambar 5.3 di bawah ini.



Gambar 5.3 Grafik Tegangan Regangan Baja P6

Data yang diperoleh dari pengujian berupa nilai beban leleh dan beban ultimit dari baja P6, yang mana dari data tersebut akan dilakukan analisis untuk mengetahui nilai tegangan leleh dan tegangan ultimit dari baja P6. Hasil analisis pengujian tarik baja P6 dapat dilihat dalam Tabel 5.6 berikut.

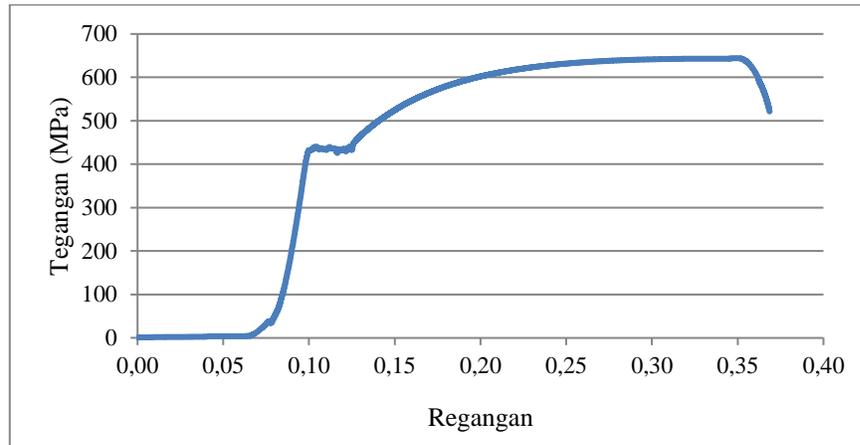
Tabel 5.6 Pengujian Tarik Baja P6

Uraian	Perhitungan	Nilai	Satuan
Beban Leleh (Py)	$P_y = p_y \times 9,81$	1656	kgf
	$= 1656 \times 9,81$ $= 16245,36$	16245,36	N
Beban Ultimit (Pu)	$P_u = p_u \times 9,81$	2386,5	kgf
	$= 2386,5 \times 9,81$ $= 23411,565$	23411,565	N
Diameter Tulangan (d)	-	6,95	mm
Luasan Baja (A)	$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$ $= \frac{1}{4} \times \pi \times 6,95^2$ $= 37,9367$	37,9367	mm ²
Tegangan Leleh (fy)	$f_y = \frac{P_y}{A}$ $= \frac{16245,36}{37,9367}$ $= 428,2229$	428,2229	MPa
Tegangan Ultimit (fu)	$f_u = \frac{P_u}{A}$ $= \frac{23411,565}{37,9367}$ $= 617,1219$	617,1219	MPa

Dalam perencanaan awal yang dilakukan, tulangan sengkang akan menggunakan tulangan baja P8. Sebelum melakukan pengujian tarik baja, diukur diameter tulangan terlebih dahulu, namun hasil diameter dari tulangan SNI P8 adalah sebesar 6,85 mm sehingga selanjutnya tulangan baja P8 akan disebut sebagai baja tulangan P6. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh nilai tegangan leleh (f_y) sebesar 428,2229 mPa dan nilai tegangan ultimit (f_u) sebesar 617,1219 mPa.

2. Pengujian Tarik Baja P10

Hasil uji tarik baja P10 ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang tertera pada Gambar 5.4 di bawah ini.



Gambar 5.4 Grafik Tegangan Regangan Baja P10

Data yang diperoleh dari pengujian berupa nilai beban leleh dan beban ultimit dari baja P10, yang mana dari data tersebut akan dilakukan analisis untuk mengetahui nilai tegangan leleh dan tegangan ultimit dari baja P10. Hasil analisis pengujian tarik baja P10 dapat dilihat dalam Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Pengujian Tarik Baja P10

Uraian	Perhitungan	Nilai	Satuan
Beban Leleh (P_y)	$P_y = p_y \times 9,81$	3996	kgf
	$= 3996 \times 9,81$ $= 39200,76$	39200,76	N
Beban Ultimit (P_u)	$P_u = p_u \times 9,81$	5958	kgf
	$= 5958 \times 9,81$ $= 58447,98$	58447,98	N
Diameter Tulangan (d)	-	10,75	mm
Luasan Baja (A)	$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$ $= \frac{1}{4} \times \pi \times 10,75^2$ $= 90,7626$	90,7626	mm ²
Tegangan Leleh (f_y)	$f_y = \frac{P_y}{A}$ $= \frac{39200,76}{90,7626}$ $= 431,9045$	431,9045	MPa
Tegangan Ultimit (f_u)	$f_u = \frac{P_u}{A}$ $= \frac{58447,98}{90,7626}$ $= 643,9656$	643,9656	MPa

Dalam perencanaan awal yang dilakukan, tulangan sengkang akan menggunakan tulangan baja P12. Namun, sebelum melakukan pengujian tarik baja, penulis mengukur diameter dari tulangan, dan hasil diameter dari tulangan SNI P12 adalah sebesar 10,75 mm sehingga selanjutnya tulangan baja P12 akan disebut sebagai baja tulangan P10. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh nilai tegangan leleh (f_y) sebesar 431,9045 mPa dan nilai tegangan ultimit (f_u) sebesar 643,9656 mPa.

5.1.4 Pengujian *Carbon Fiber*

Pada pengujian tahap ini dilakukan pada material *carbon fiber*, yaitu CFRP yang belum dilapisi oleh resin (*epoxy*) yang dilakukan beberapa percobaan (*trial*). Pengujian tarik *carbon fiber* dilakukan dengan metode yang sama dengan pengujian baja, yaitu diuji tarik dengan bantuan mesin Hung-Ta : *Tensile Compression*. Asumsi awal ialah kekuatan tarik dari *carbon fiber* dapat melebihi kuat tarik baja tulangan dengan cara membentuk *carbon fiber* menjadi sebuah gulungan seperti baja tulangan. Agar dapat melihat perbandingan yang cukup signifikan antara kedua material, *carbon fiber* yang akan diuji memiliki luas penampang yang sama dengan baja tulangan. Berikut adalah perhitungan untuk luas penampang material yang akan diuji pada *trial I*.

$$\begin{aligned} A_{\text{baja}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 \\ &= 113,097 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diketahui *carbon fiber* memiliki ketebalan sebesar 0,3 mm.

$$A_{\text{sk}} = \text{tebal} \times \text{lebar}$$

$$113,097 = 0,3 \times \text{lebar}$$

$$\text{lebar} = 377 \text{ mm}$$

Namun, karena satuan gulungan *carbon fiber* memiliki lebar sebesar 1500 mm, *carbon fiber* dibagi menjadi 4 dengan masing-masing memiliki lebar 350 mm, yang

mana dengan lebar tersebut sudah cukup mewakili luasan penampang *carbon fiber* agar sama dengan luas penampang baja. Sehingga, *carbon fiber* yang akan diuji memiliki ukuran lebar sebesar 350 mm, tebal sebesar 0,3 mm, yang digulung dengan panjang 500 mm kemudian direkatkan dengan bantuan selotip. *Carbon fiber* yang sudah digulung dapat dilihat pada Gambar 5.5 di bawah ini.



Gambar 5.5 Carbon Fiber yang Digulung



Gambar 5.6 Carbon Fiber yang Diuji Tarik

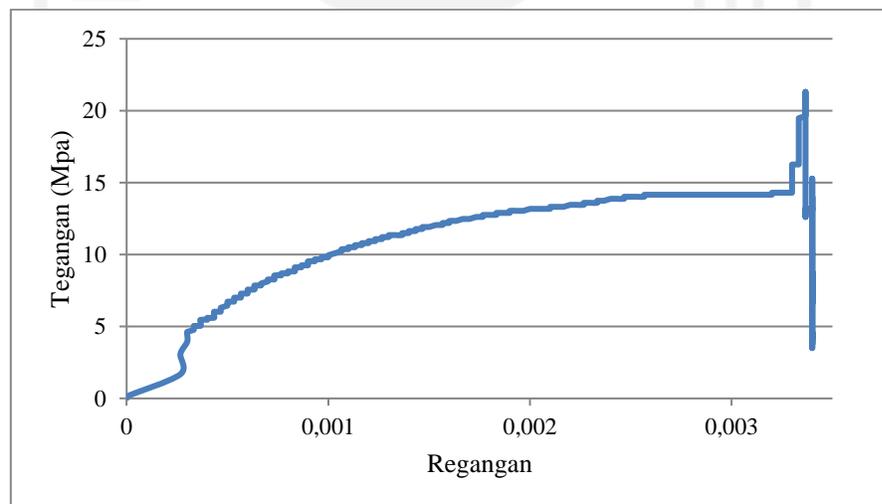
Pada saat pengujian dilaksanakan, terjadi *slip* pada pegangan (*grip*) mesin sehingga *carbon fiber* yang diuji semakin lama semakin melepaskan diri dari *grip*. Namun, pengujian tetap dilanjutkan dan kemudian dihentikan karena mesin tidak

dapat menambah beban tetapi bidang tarik tidak menunjukkan perubahan berupa tanda-tanda putus, sehingga hasil dari uji serat karbon *trial* I ini dianggap tidak *valid*. Setelah dilepas dari alat, serat karbon terlihat kerusakan yang terjadi di bagian bidang *grip* yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 di bawah ini.



Gambar 5.7 Carbon Fiber Trial I Setelah Diuji

Untuk hasil pengujian yang telah dilakukan analisis berupa grafik tegangan-regangan pada pengujian *trial* I dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Grafik Tegangan Regangan Carbon Fiber Trial I

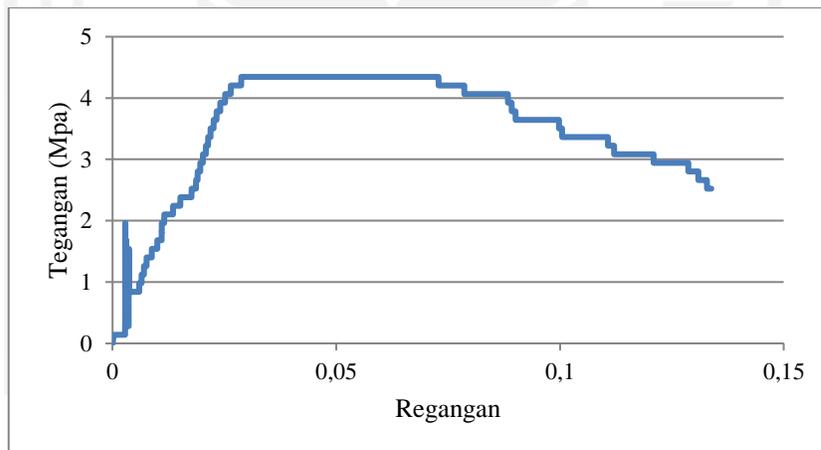
Dapat dilihat dari grafik di atas, diperoleh nilai tegangan maksimum atau (f_u) sebesar 21,3017 MPa dan nilai regangan yang cukup kecil. Dikarenakan terjadi *slip* ketika pengujian berlangsung pada bagian *grip*, maka tegangan yang tercatat dianggap bukan merupakan nilai tegangan dari *carbon fiber trial* I.

Kemudian, pada *trial* II solusi yang dilakukan untuk mengatasi *slip* yang terjadi di bagian *grip*, ujung-ujung serat karbon diikat sehingga ketika pembebanan dilakukan, ikatan tersebut dapat tertahan di bagian *grip*. Gambar 5.9 berikut adalah sampel *carbon fiber* yang diikat pada bagian ujungnya.



Gambar 5.9 Benda Uji Carbon Fiber Trial II

Untuk hasil pengujian yang telah dilakukan analisis berupa grafik tegangan-regangan pada pengujian *trial* II dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Grafik Tegangan Regangan Carbon Fiber Trial II

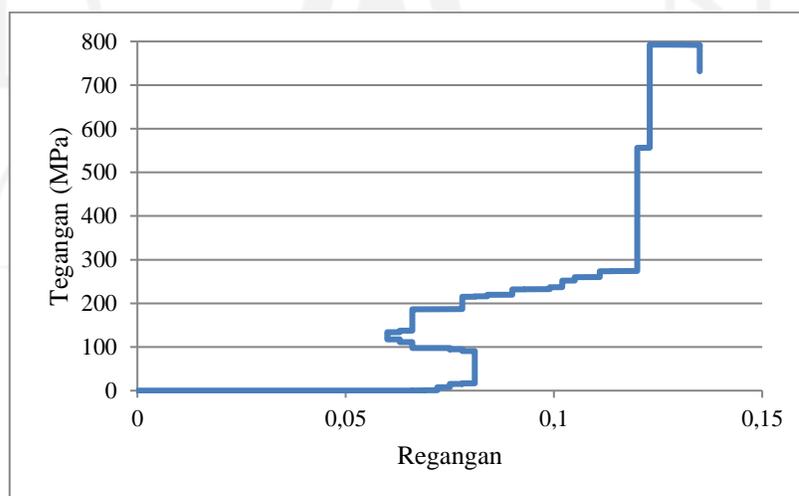
Dapat dilihat dari grafik di atas menunjukkan bahwa nilai tegangan ultimit (f_u) sebesar 4,3444 MPa dengan nilai regangan maksimum (ϵ_{max}) sebesar 0,1338. Pada pengujian ini pun, kerusakan yang terjadi masih terletak pada bagian *grip*, sehingga nilai tegangan yang diperoleh dianggap tidak *valid*. Namun, dari pengujian ini dapat diasumsikan bahwa mengikat *carbon fiber* pada bagian ujungnya dapat mencegah terjadinya *slip* karena nilai regangan maksimum yang tercatat sudah cukup baik.

Solusi yang dibuat setelah memperoleh hasil dari pengujian *trial I* dan *trial II* yang mana kerusakan terletak pada bidang *grip*, ialah membuat bidang tarik *carbon fiber* lebih kecil daripada bidang *grip*-nya. Dalam pengujian *trial III* ini, *carbon fiber* tidak lagi digulung, melainkan dibentangkan begitu saja menyerupai pelat dimana bidang tarik lebih kecil daripada bidang *grip*. Hal ini dilakukan untuk melihat perilaku dari serat-serat karbon itu sendiri. Berikut adalah bahan uji dari pengujian *trial III* dengan lebar sebesar 7,5 cm dan panjang bidang tarik sebesar 20 cm.



Gambar 5.11 Benda Uji *Carbon Fiber Trial III*

Untuk hasil pengujian yang telah dilakukan analisis berupa grafik tegangan-regangan pada pengujian *trial III* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Grafik Tegangan Regangan *Carbon Fiber Trial III*

Dari pengujian *trial* III ini diperoleh nilai tegangan ultimit (f_u) sebesar 792,7352 MPa dengan regangan maksimum (ϵ_{max}) sebesar 0,135. Hasil secara *visual* yang diperoleh ialah kerusakan yang terjadi sudah berada di daerah bidang Tarik, yaitu terjadinya perpanjangan atau deformasi yang menyebabkan nilai regangan cukup tinggi. Akan tetapi, dikarenakan asumsi awal pengujian tarik *carbon fiber* yang dilakukan ialah menguji seperti baja hingga putus, maka pengujian ini dianggap tidak *valid*.



Gambar 5.13 Carbon Fiber Trial III Setelah Diuji

Untuk pengujian *carbon fiber* pada *trial* IV ini, benda uji dibuat sedemikian rupa berdasarkan asumsi yang telah diperoleh dari pengujian sebelumnya. Benda uji dibuat seperti benda uji *trial* III, yaitu lebar bidang tarik lebih kecil daripada lebar pada *grip*. Panjang pada masing-masing bagian *grip* sebesar 15 cm dan lebar sebesar 37,5 cm, sedangkan panjang pada bidang tarik sebesar 20 cm dan lebar sebesar 17 cm, yang mana jika luas permukaan benda uji ini dibandingkan dengan luas permukaan baja tulangan, maka akan setara dengan baja berdiameter 8 mm. Kemudian, benda uji digulung menyerupai benda uji *trial* I dan ujung-ujungnya diikat seperti benda uji *trial* II agar memperoleh hasil yang maksimal.



Gambar 5.14 Benda Uji Carbon Fiber Trial IV Sebelum Digulung



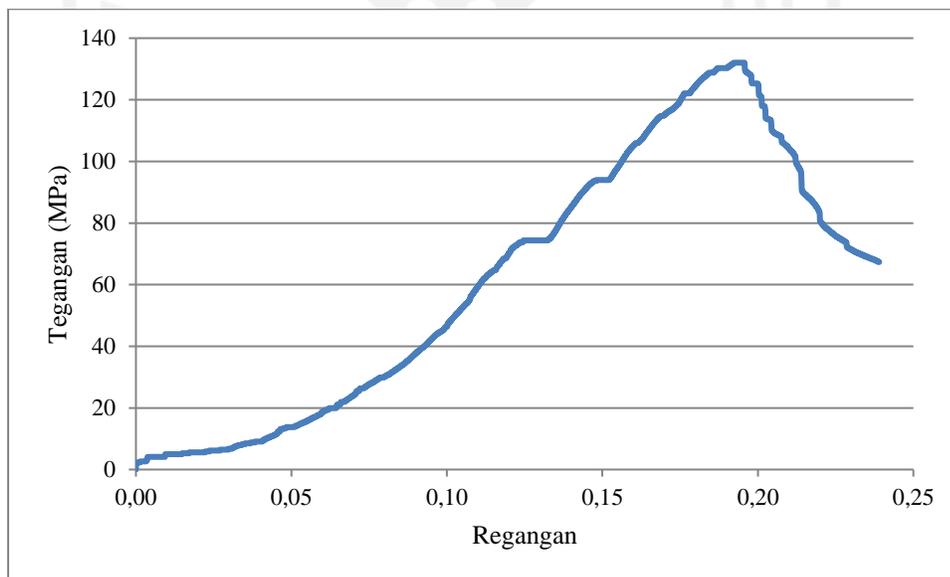
Gambar 5.15 Benda Uji Carbon Fiber Trial IV Setelah Digulung

Gambar 5.16 berikut adalah *carbon fiber* pengujian *trial IV* setelah diuji.



Gambar 5.16 Carbon Fiber Trial IV Setelah Diuji

Untuk hasil pengujian yang telah dilakukan analisis berupa grafik tegangan-regangan pada pengujian *trial IV* dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Grafik Tegangan Regangan Carbon Fiber Trial IV

Data yang diperoleh dari pengujian berupa nilai beban leleh dan nilai beban ultimit dari *carbon fiber trial IV*, yang mana dari data tersebut akan dilakukan analisis untuk mengetahui nilai tegangan leleh dan tegangan ultimit dari *carbon fiber trial IV*. Hasil analisis pengujian tarik *carbon fiber trial IV* dapat dilihat dalam Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Pengujian Tarik Carbon Fiber Trial IV

Uraian	Perhitungan	Nilai	Satuan
Beban Ultimit (Pu)	$P_u = p_u \times 9,81$	677	kgf
	$= 677 \times 9,81$ $= 6641,37$	6641,37	N
Luasan Baja (A)	$A = \text{tebal} \times \text{lebar}$ $= 0,3 \times 170$ $= 51$	51	mm ²
Tegangan Ultimit (fu)	$f_u = \frac{P_u}{A}$ $= \frac{6641,37}{51}$ $= 130,2229$	130,2229	MPa
Beban Leleh (Py)	$P_y = p_y \times 9,81$	384	kgf
	$= 384 \times 9,81$ $= 3767,04$	3767,04	N
Tegangan Leleh (fy)	$f_y = \frac{P_y}{A}$ $= \frac{3767,04}{51}$ $= 73,8635$	73,8635	MPa

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap beberapa *trial* pengujian tarik CFRP, diperoleh hasil yang paling maksimum pada pengujian *carbon fiber trial IV*, yaitu diperoleh nilai tegangan leleh (f_y) sebesar 73,8635 MPa. Namun, jika dibandingkan dengan nilai f_y baja, nilai f_y *carbon fiber* masih terlalu kecil. Sehingga, dapat ditarik kesimpulan bahwa *carbon fiber* tidak dapat bekerja sendiri sebagai sebuah material. Melaikan, *carbon fiber* harus dibentuk menjadi sebuah material komposit terlebih dahulu agar sifat mekanik yang dimiliki dapat bekerja secara optimal.

5.1.5 Pengujian Resin (*Epoxy*)

Sebelum melakukan pengujian kuat tarik CFRP, dilakukan terlebih dahulu pengujian kekuatan tarik dari resin (*epoxy*). Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kekuatannya dan bagaimana pengaruhnya terhadap serat karbon yang diikatnya. Benda uji resin memiliki ukuran yang sama dengan benda uji CFRP, yaitu lebar sebesar 25 mm, panjang bidang tarik 50 mm, dan panjang bidang *grip* di kedua ujungnya sebesar 100 mm, dan pada bagian *grip* dilapisi lagi oleh GFRP agar tidak terjadi *slip*. Pengujian tarik resin dilakukan dengan bantuan mesin Hung-Ta : *Tensile Compression*. Berikut adalah benda uji dari pengujian resin.

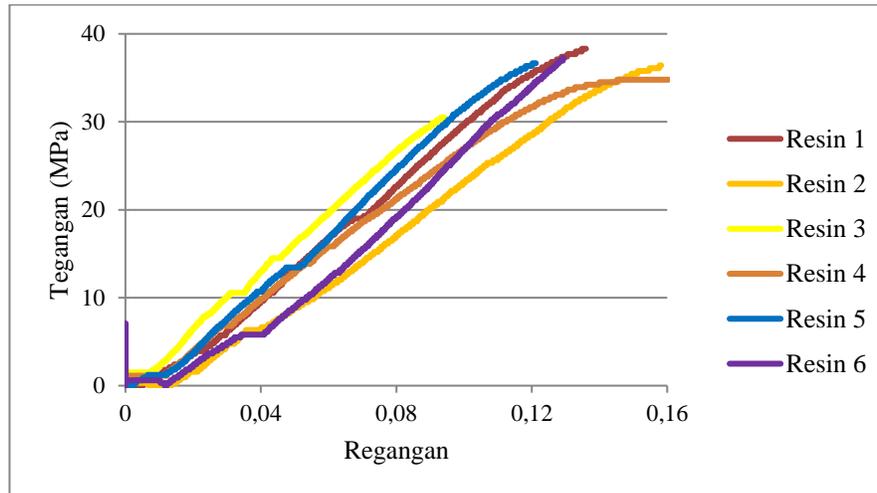


Gambar 5.18 Benda Uji Resin Sebelum Diuji



Gambar 5.19 Benda Uji Resin Setelah Diuji

Hasil pengujian yang telah dilakukan analisis berupa grafik tegangan-regangan pada pengujian tarik resin dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Grafik Tegangan Regangan Resin

Pengujian resin ini menghasilkan nilai beban ultimit dari resin (*epoxy*) yang hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Pengujian Tarik Resin

Benda Uji	Beban Ultimit		Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	f _u (MPa)
	Pu (kgf)	Pu (N)				
Resin 1	190,5	1868,8050	2,017	24,187	48,7852	38,3068
Resin 2	172,5	1692,2250	1,983	23,433	46,4676	36,4173
Resin 3	151,5	1486,2150	2,067	23,567	48,7130	30,5096
Resin 4	184,5	1809,9450	2,233	23,3	52,0289	34,7873
Resin 5	180	1765,8000	2,03	23,73	48,1719	36,6562
Resin 6	183	1795,2300	2,05	27,3	55,9650	32,0777

Berikut adalah contoh untuk perhitungan nilai tegangan ultimit dari resin.

4. Diketahui : Pu = 190,5 kgf ; tebal (t) = 2,017 mm ; lebar (l) = 24,187 mm

$$\begin{aligned}
 5. P_u &= 190,5 \times 9,81 \\
 &= 1868,8050 \text{ kgf}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6. A &= t \times l \\
 &= 2,017 \times 24,187 \\
 &= 48,7852 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7. f_u &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{1868,8050}{48,7852} \\
 &= 38,3068 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dari pengujian dan analisis yang dilakukan, tegangan ultimit (f_u) rata-rata dari resin (*epoxy*) sebesar 34,7925 MPa. Jika diambil kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka resin tidak memberikan penambahan kekuatan pada *carbon fiber* yang disebabkan oleh resin memiliki kekuatan sendiri yang cukup besar, melainkan resin berperan sebagai matriks yang mengikat *carbon fiber* untuk menjadi sebuah komposit. Dari komposit CFRP tersebut *carbon fiber* bekerja sama dengan resin seperti sebuah material baru yang memiliki karakteristik tersendiri.

5.1.6 Pengujian CFRP

Dalam pengujian tahap ini, benda uji sudah berbentuk komposit CFRP, yaitu *carbon fiber* yang sudah dilapisi oleh resin (*epoxy*). Pengujian tarik CFRP juga dilakukan dengan mesin Hung-Ta : *Tensile Compression*. Pengujian dilakukan dengan dasar dari ASTM *Designation D 3039/D 3039 M-00 2000 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials* seperti yang sudah tertera pada Bab III.

Carbon fiber dilapisi oleh resin dengan metode *manual hand lay-up* dimana perbandingan katalis : resin sebesar 1 : 10, lalu dijemur dibawah sinar matahari untuk memperoleh sinar UV dari matahari agar resin mengering dan mengeras sehingga menjadi sebuah komposit CFRP yang kaku. Kemudian CFRP dipotong dan disesuaikan sehingga memiliki ukuran lebar sebesar 25 mm, panjang bidang tarik 50 mm, dan panjang bidang *grip* masing-masing di bagian ujung sebesar 100 mm. Kemudian, pada bagian *grip* dilapisi lagi oleh GFRP agar tidak terjadi slip. Berikut adalah benda uji dari pengujian CFRP.



Gambar 5.21 Benda Uji CFRP Sebelum Diuji



Gambar 5.22 Benda Uji CFRP Setelah Diuji

Dari pengujian CFRP ini diperoleh nilai beban ultimit dari CFRP yang dapat dijadikan acuan nilai kuat tarik CFRP. Hasil pengujian dan analisis dari pengujian yang telah dilakukan ditunjukkan dalam Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Pengujian Tarik CFRP

Benda Uji	Beban Ultimit		Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	f _u (MPa)
	Pu (kgf)	Pu (N)				
CFRP 1	193,5	1898,235	0,3	23,54	7,062	268,7957
CFRP 2	478,5	4694,085	0,3	24,89	7,467	628,6440
CFRP 3	442,5	4340,925	0,3	24,06	7,219	601,3278
CFRP 4	313,5	3075,435	0,3	23,65	7,095	433,4651

Berikut adalah contoh untuk perhitungan nilai tegangan ultimit dari resin.

1. Diketahui : Pu = 478,5 kgf ; tebal (t) = 0,3 mm ; lebar (l) = 23,54 mm

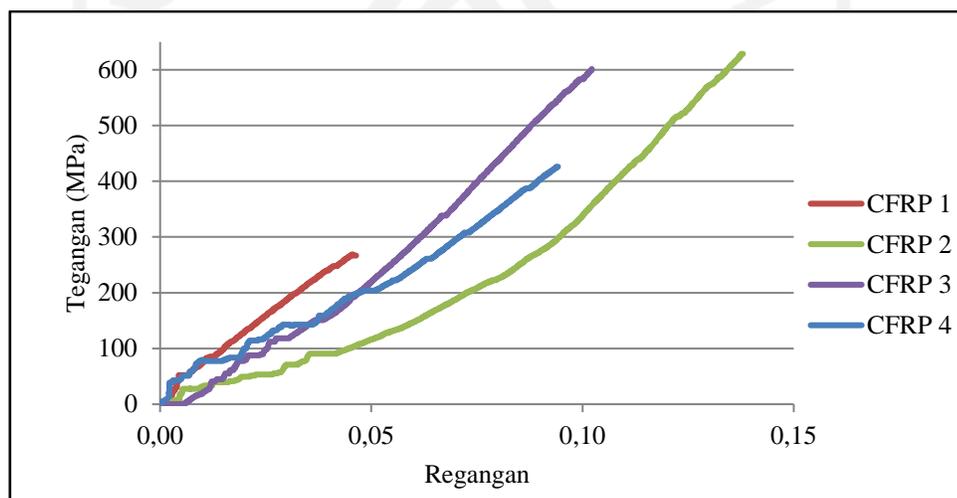
$$\begin{aligned}
 2. \text{ Pu} &= 478,5 \times 9,81 \\
 &= 1898,235 \text{ kgf}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. A &= t \times l \\
 &= 0,3 \times 23,54 \\
 &= 7,062 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. f_u &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{1898,235}{7,062} \\
 &= 628,6440 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dari pengujian dan analisis perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai tegangan ultimit rata-rata (f_u) CFRP sebesar 483,0581 MPa. Dikarenakan nilai pengujian tarik dari spesimen CFRP 1 dan CFRP 4 cukup jauh perbedaannya, sehingga ketika melakukan perhitungan desain awal, nilai tegangan ultimit (f_u) yang digunakan ialah rerata dari nilai CFRP 2 dan CFRP 3 saja yaitu sebesar 614,9859 MPa. Kemudian nilai f_u dibagi dengan nilai *overstrength factor* (1,25) dan diperoleh nilai asumsi tegangan leleh (f_y) sebesar 491,9887 MPa. Jika dibandingkan dengan f_y baja sebesar 431,9044, maka nilai f_y CFRP asumsi lebih besar daripada f_y baja, sehingga nilai tersebut sudah dapat mewakili dan digunakan dalam perhitungan jumlah tulangan CFRP.

Hasil pengujian dalam bentuk grafik ditunjukkan pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 Grafik Tegangan Regangan CFRP

Pada saat pengujian berlangsung dapat diperhatikan ketika beban terus bertambah, CFRP tidak mengalami perpanjangan sama sekali, melainkan terjadinya retakan perlahan dari sisi pinggir CFRP yang berujung ke putus. Selain itu, sampel CFRP yang sudah putus pada bagian putusnya mengalami perubahan bentuk kembali menjadi serat. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa regangan yang terjadi sangat kecil, yang artinya deformasi atau perpanjangan yang terjadi pun sangat kecil.

Deformasi terjadi apabila bahan mengalami gaya. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan ukuran secara fisik ini yang disebut sebagai deformasi. Deformasi terdapat dua jenis, yaitu deformasi elastis yang terjadi akibat adanya beban dan jika bebannya dihilangkan maka material akan kembali ke ukuran semula, serta deformasi plastis yang bersifat permanen jika bebannya dilepas (Jasmani, 2001 dalam Daryanto, 2007).

Deformasi ini nantinya akan berpengaruh pada sifat keuletan (daktilitas) suatu bahan. Kemampuan struktur untuk melakukan deformasi yang sangat besar di bawah pengaruh tegangan tanpa mengalami putus disebut dengan daktilitas. Lawan dari keuletan adalah kegetasan (*brittleness*), yaitu suatu bahan tidak mengalami deformasi plastis terlebih dahulu sebelum mengalami rusak. Material getas akan tiba-tiba rusak tanpa adanya tanda terlebih dahulu. Material yang memiliki sifat getas tidak memiliki titik leleh atau proses pengecilan penampang, sehingga kekuatan patahnya sama dengan kekuatan maksimumnya.

Jika melihat grafik dari hasil pengujian CFRP di atas, dapat disimpulkan bahwa pengujian spesimen CFRP berhasil, karena bentuk grafik yang hampir serupa dengan grafik hasil pengujian CFRP pada umumnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Berdasarkan penjelasan dan hasil pengujian yang diperoleh, CFRP merupakan material bersifat getas, karena ketika dilakukan pengujian CFRP langsung putus ketika dilakukan pembebanan hingga titik maksimum tanpa mengalami peristiwa

leleh. Dimana, sifat getas ini menjadi karakteristik utama sebagai sebuah komponen komposit CFRP.

Material komposit adalah kombinasi dari dua atau lebih unsur utama, unsur penguat yang mempunyai sifat mekanik yang sangat baik namun sulit untuk membentuknya dan membutuhkan unsur matriks yang melayani sebagai penghantar beban luar ke serat penguat. Komposit akhir adalah sebuah material yang mempunyai sifat yang mendekati sifat yang dimiliki unsur utama penguat, tetapi dalam bentuk yang dapat secara mudah difabrikasi menjadi komponen struktur.

Fungsi serat karbon (*carbon fiber*) dalam komposit ialah sebagai penguat bahan untuk memperkuat komposit, sehingga sifat mekaniknya lebih kaku, tangguh, dan lebih kokoh. Untuk matriks sendiri memiliki fungsi sebagai men-*transfer* tegangan ke serat, membentuk ikatan antara permukaan matriks dan serat, melindungi serat dan menstabilkan komposit setelah proses manufaktur. Jika diambil kesimpulan, maka CFRP memiliki hasil pengujian yang berbeda dengan serat karbon biasa ialah karena CFRP sudah memiliki matriks berupa resin yang dapat menyalurkan beban dengan maksimal ke masing-masing serat di dalam serat karbon sehingga kekuatan yang dapat ditumpu pun lebih maksimal.

5.2 Perhitungan Percobaan Rencana Campuran Beton (*Trial Mix Design*)

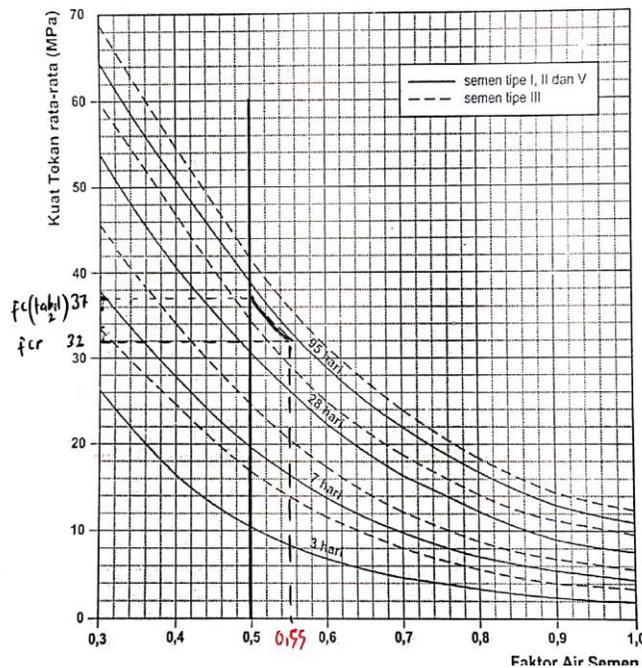
Perencanaan campuran beton yang selanjutnya disebut *trial mix design* ini menggunakan metode dari SNI 03-2834-2000. Untuk langkah-langkah perhitungan rencana campuran (*mix design*) dan keterangan lebih lengkap dapat dilihat pada subbab 3.5. Berikut merupakan perhitungan *trial mix design* untuk sampel silinder uji.

1. Kuat tekan atau kuat desak rencana (f'_c) untuk beton uji sebesar 20 MPa dengan benda uji berbentuk silinder.
2. Bahan pengikat atau semen ialah semen Portland Tipe I yaitu Semen Gresik.
3. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan, agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran maksimal sebesar 20 mm.

4. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan, agregat halus yang digunakan memiliki susunan butiran yang masuk dalam daerah gradasi no. 2.
5. Pada penelitian ini, sampel yang akan dibuat berjumlah 3 buah, yang mana sampel kurang dari 15. Maka, dari Tabel 3.2 dapat diambil nilai tambah kuat tekan rencana (M) sebesar 12 MPa.
6. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}) diperoleh dari persamaan 3.6.

$$f_{cr} = 20 + 12$$

$$= 32 \text{ MPa}$$
7. Menentukan faktor air semen (FAS)
 - a. Berdasarkan pada Tabel 3.3, untuk jenis semen portland tipe I, jenis agregat kasar berupa batu pecah, pada umur beton 28 hari, diperoleh nilai kekuatan tekan beton 37 MPa untuk benda uji berbentuk silinder.
 - b. Berdasarkan pada Gambar 3.9, FAS dapat diperoleh dengan dasar utama dari hasil yang telah didapatkan pada langkah sebelumnya. Untuk hasil nilai FAS pada saat $f_{cr} = 32 \text{ MPa}$ dapat diamati pada Gambar 5.24 berikut.



Gambar 5.24 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan FAS

Dari gambar tersebut diperoleh nilai FAS rencana sebesar 0,55. Nilai FAS harus memenuhi persyaratan minimum jumlah semen dan nilai FAS maksimum seperti yang tertera pada Tabel 3.5. Beton uji ini nantinya akan diletakkan di luar ruangan bangunan yang mana tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung, sehingga nilai FAS maksimum ialah 0,6. Kemudian untuk nilai FAS yang digunakan ialah yang terkecil dari keduanya, ialah $FAS = 0,55$.

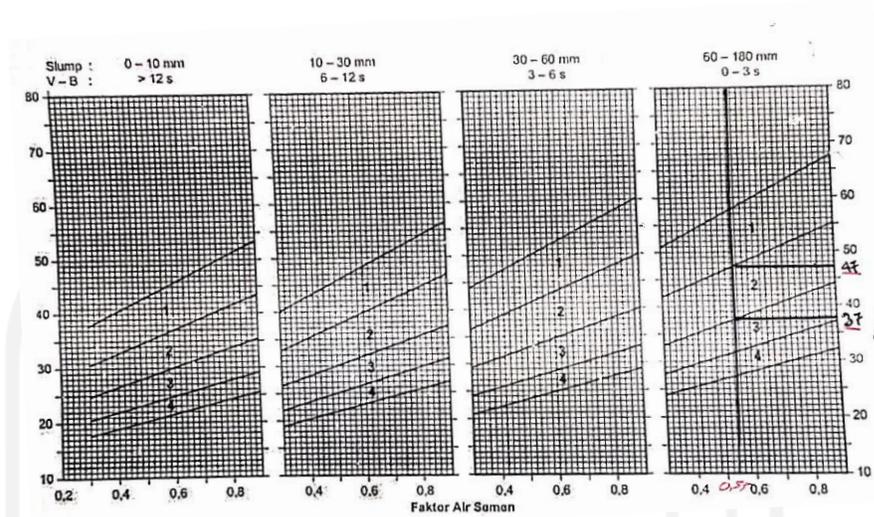
8. Nilai *slump* rencana yang digunakan berada di antara nilai 60 – 180 mm, yaitu sebesar 140 – 150 mm.
9. Nilai kadar air bebas dapat diperoleh dengan bantuan dari Tabel 3.4. Untuk agregat kasar dengan ukuran butir maksimum sebesar 20 mm yang berupa batu pecah dan nilai *slump* yang digunakan 60 – 180 mm, diperoleh nilai kadar air bebas sebesar 225 kg/m^3 .
10. Jumlah semen yang digunakan per m^3 beton.
 - a. Kadar semen dapat dihitung menggunakan persamaan 3.8.

$$\begin{aligned} \text{Kadar semen} &= \frac{225}{0,55} \\ &= 409,1 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- b. Berdasarkan pada Tabel 3.5, untuk beton yang akan diletakkan di luar ruangan bangunan yang tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung diperoleh jumlah semen minimum per m^3 beton sebesar 325 kg.

Dari kedua nilai jumlah semen yang didapatkan, digunakan nilai jumlah semen $409,1 \text{ kg/m}^3$ untuk perhitungan *mix design* selanjutnya.

11. Dari Gambar 3.9, dapat diperoleh nilai persentase agregat halus. Dengan dasar utama nilai *slump* sebesar 60 – 180 mm dan susunan butiran agregat halus masuk pada gradasi no.2, maka akan diperoleh nilai persentase seperti yang dapat diamati pada Gambar 5.25 berikut.



Gambar 5.25 Grafik Persentase Agregat Halus

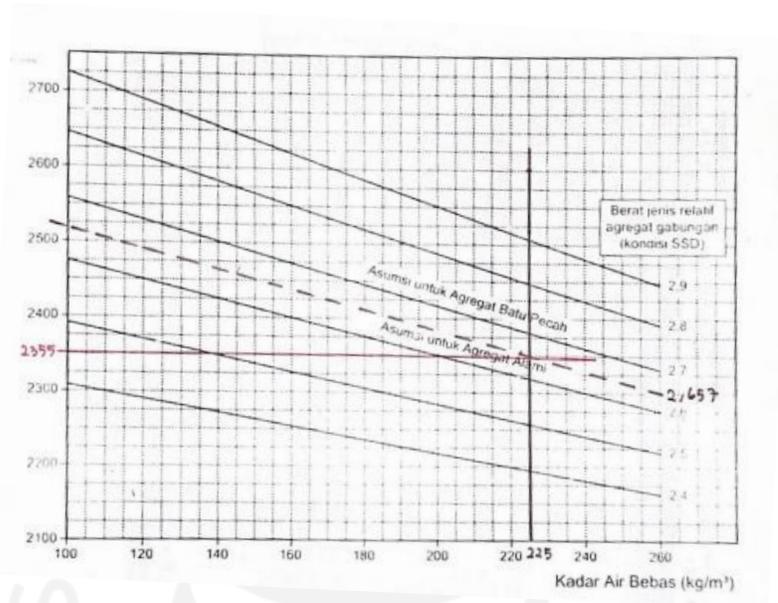
$$\begin{aligned} \text{Persentase agregat halus} &= \frac{37 + 47}{2} \times 100 \% \\ &= 42\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase agregat kasar} &= 100\% - 42\% \\ &= 58\% \end{aligned}$$

12. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka diketahui berat jenis agregat halus sebesar $2,632 \text{ gram/cm}^3$ dan berat jenis agregat kasar sebesar $2,703 \text{ gram/cm}^3$.

$$\begin{aligned} \text{BJ}_{\text{AG}} &= \left(\frac{\% \text{ AH}}{100} \times \text{BJ}_{\text{AH}} \right) + \left(\frac{\% \text{ AK}}{100} \times \text{BJ}_{\text{AK}} \right) \\ &= \left(\frac{42}{100} \times 2,632 \right) + \left(\frac{58}{100} \times 2,703 \right) \\ &= 2,657 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

13. Berat isi beton dapat ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 3.10. Diketahui nilai kadar air bebas 225 kg/m^3 dan berat jenis agregat gabungan sebesar $2,657 \text{ gram/cm}^3$, maka nilai perkiraan berat isi beton basah yang telah dipadatkan akan diperoleh melalui Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.26 Grafik Isi Beton

Berdasarkan gambar di atas, nilai berat isi beton yang didapatkan sebesar 2355 kg/m³.

14. Kemudian menghitung komposisi dari masing-masing material.

a. Kadar agregat gabungan = berat isi beton – kadar semen – kadar air bebas

$$= 2355 - 409,1 - 225$$

$$= 1720,9 \text{ kg/m}^3$$

b. Kadar agregat halus = $\frac{\% \text{ AH}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan}$

$$= \frac{42}{100} \times 1720,9$$

$$= 722,778 \text{ kg/m}^3$$

c. Kadar agregat kasar = $\frac{\% \text{ AK}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan}$

$$= \frac{58}{100} \times 1720,9$$

$$= 998,122 \text{ kg/m}^3$$

15. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, diperoleh susunan campuran proporsi teoritis untuk setiap 1 m³ beton, yaitu sebagai berikut.

- a. Semen = 409,1 kg
- b. Air = 225 kg
- c. Agregat halus = 722,778 kg
- d. Agregat kasar = 998,122 kg

16. Untuk menentukan proporsi campuran per masing-masing beton uji, terlebih dahulu melakukan perhitungan volume silinder beton.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume silinder (d = 0,15 m; h = 0,3 m)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times h \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

17. Nilai penyusutan beton yang digunakan pada pembuatan silinder untuk mencari tahu kekuatan tekan beton rencana dari *mix design* yang telah dilakukan ialah sebesar 15%. Dengan diketahui volume silinder sebesar 0,0053 m³, maka proporsi material untuk 3 buah silinder uji dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\text{Material} = \text{proporsi } 1\text{m}^3 \times \text{nilai penyusutan} \times \text{jumlah beton} \times \text{volume}$$

- a. Semen = 409,1 × 115% × 3 × 0,0053
= 7,4824 kg
- b. Air = 225 × 115% × 3 × 0,0053
= 4,1152 kg
- c. Agregat halus = 722,778 × 115% × 3 × 0,0053
= 13,2196 kg
- d. Agregat kasar = 998,122 × 115% × 3 × 0,0053
= 18,2556 kg

5.3 Analisis Data *Trial Mix Design*

Trial mix design dilakukan pada 3 buah sampel silinder beton yang telah dibuat. Pengujian *trial mix design* dilakukan dengan bantuan alat mesin uji tekan beton (*compression testing machine*) yang dilakukan setelah silinder beton berumur 28 hari yang dirawat dengan cara direndam air, lalu dikeringkan sehari sebelum pengujian

dilaksanakan. Pengujian *trial mix design* dilakukan untuk mengetahui nilai kuat desak (f'_c) silinder beton yang mana dapat menentukan apakah proporsi campuran beton dari hasil *trial mix design* dapat digunakan untuk merencanakan *mix design* untuk komposisi campuran beton balok uji utama pengujian kuat lentur nantinya. Gambar 5.27 di bawah ini adalah sampel silinder uji *trial mix design*.



Gambar 5.27 Pengujian *Trial Mix Design* Silinder Beton

Berikut adalah hasil analisis dari pengujian *trial mix design* yang telah dilakukan yang ditampilkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Pengujian *Trial Mix Design*

Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas penampang (mm ²)	Beban Maks. (kN)	f'_c (MPa)
Silinder 1	150,65	300,96	17824,9431	420,4	23,585
Silinder 2	148,90	301,55	17413,2276	431,2	24,763
Silinder 3	151,05	303,53	17919,725	431,4	24,074

Berikut adalah contoh untuk perhitungan kuat tekan silinder beton.

1. Diketahui : diameter (d) = 150,65

$$\begin{aligned}
 2. A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,065^2 \\
 &= 17824,9431 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$3. P = 420,4 \text{ kN}$$

$$= 420400 \text{ N}$$

$$4. f'_c = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{420400}{17824,9431}$$

$$= 23,585 \text{ MPa}$$

Dari hasil pengujian *trial mix design* diatas, setelah dianalisis maka diperoleh nilai kuat desak (f'_c) silinder beton rata-rata sebesar 24,1406 MPa, sedangkan perhitungan *trial mix design* yang dilakukan untuk memperoleh nilai kuat desak (f'_c) silinder beton sebesar 20 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa proporsi campuran beton dari hasil *mix design* dapat digunakan sebagai acuan *mix design* untuk balok uji utama.

5.4 Perhitungan Proporsi Campuran Benda Uji Utama

Untuk perhitungan proporsi campuran balok uji utama, dapat menggunakan proporsi campuran beton dari hasil *trial mix design* beton yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan perhitungan proporsi campuran untuk beton uji utama.

1. Proporsi campuran beton yang dibutuhkan untuk setiap 1 m^3 beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 409,1 kg
- b. Air = 225 kg
- c. Agregat halus = 722,778 kg
- d. Agregat kasar = 998,122 kg

5. Untuk menentukan proporsi campuran masing-masing beton uji, terlebih dahulu melakukan perhitungan volume beton uji yang berupa balok, silinder, dan kubus.

- a. Volume balok ($b = 0,2 \text{ m}$; $h = 0,3 \text{ m}$; $L = 2 \text{ m}$) = $b \times h \times L$

$$= 0,2 \times 0,3 \times 2$$

$$= 0,12 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Volume silinder (d = 0,15 m; h = 0,3 m)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times h \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3 \\
 \text{c. Volume kubus (s = 0,15 m)} &= s^3 \\
 &= 0,15^3 \\
 &= 0,003375 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

3. Dalam pelaksanaannya, penulis melakukan 2 kali *trial* nilai penyusutan yang digunakan yang terjadi karena beberapa sebab.

a. Nilai penyusutan beton 17% digunakan untuk pembuatan benda uji kubus *pull out*. Nilai penyusutan mengalami kenaikan menjadi 17% dikarenakan saat pembuatan silinder pada *trial mix design* sebelumnya, campuran beton habis tidak bersisa sama sekali. Nilai penyusutan beton 17% ini digunakan untuk 5 buah kubus uji. Diketahui volume kubus beton sebesar $0,003375 \text{ m}^3$, maka berikut adalah proporsi material yang dibutuhkan.

Material = proporsi 1m^3 × nilai penyusutan × jumlah beton × volume

$$\begin{aligned}
 \text{1) Semen} &= 409,1 \times 117\% \times 5 \times 0,003375 \\
 &= 8,0772 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{2) Air} &= 225 \times 117\% \times 5 \times 0,003375 \\
 &= 4,4423 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{3) Agregat halus} &= 722,778 \times 117\% \times 5 \times 0,003375 \\
 &= 14,2703 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{4) Agregat kasar} &= 998,122 \times 117\% \times 5 \times 0,003375 \\
 &= 19,7067 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Nilai penyusutan beton 18% digunakan untuk pembuatan balok beton dan silinder beton yang akan dilakukan pengujian utama. Nilai penyusutan mengalami kenaikan menjadi 18% dikarenakan saat pembuatan benda uji kubus juga campuran beton habis tidak bersisa. Nilai penyusutan beton 18% ini digunakan untuk 11 buah balok beton uji dan 2 buah silinder kontrol per

masing-masing balok uji. Dengan diketahui volume balok beton sebesar 0,12 m³ dan volume silinder sebesar 0,0053 m³, maka berikut adalah proporsi material yang dibutuhkan.

Material = proposi 1m³ × nilai penyusutan × jumlah beton × volume

1) Proporsi untuk balok beton

- a) Semen = $409,1 \times 118\% \times 11 \times 0,12$
= 637,2142 kg
- b) Air = $225 \times 118\% \times 11 \times 0,12$
= 350,46 kg
- c) Agregat halus = $722,778 \times 118\% \times 11 \times 0,12$
= 1125,7990 kg
- d) Agregat kasar = $998,122 \times 118\% \times 11 \times 0,12$
= 1554,6748 kg

2) Proporsi untuk silinder beton

- a) Semen = $409,1 \times 118\% \times 22 \times 0,0053$
= 56,3025 kg
- b) Air = $225 \times 118\% \times 22 \times 0,0053$
= 30,9657 kg
- c) Agregat halus = $722,778 \times 118\% \times 22 \times 0,0053$
= 99,4726 kg
- d) Agregat kasar = $998,122 \times 118\% \times 22 \times 0,0053$
= 137,3669 kg

Namun, pada pengaplikasiannya di lapangan, nilai penyusutan beton 18% menghasilkan terlalu banyak sisa campuran beton. Solusinya ialah sisa campuran beton itu dimasukkan ke dalam cetakan silinder beton, sehingga untuk setiap balok uji memiliki 3 buah silinder kontrol.

5.5 Perhitungan Rencana Tulangan

Perhitungan rencana tulangan dilakukan dengan teori dasar kuat lentur beton pada balok tulangan tunggal. Untuk langkah-langkah perhitungan rencana tulangan dan keterangan lebih lengkap dapat dilihat pada subbab 3.3. Secara garis besar, langkah yang dilakukan untuk merencanakan tulangan CFRP ialah dengan menghitung nilai gaya tekan (C_c) balok dengan tulangan baja yang diasumsikan, yang mana nilai ini akan dijadikan acuan untuk rencana jumlah tulangan CFRP. Berikut merupakan perhitungan rencana tulangan CFRP untuk balok uji.

1. Berikut adalah daftar ketentuan rencana dari balok tulangan baja.

- a. Lebar balok rencana (b) = 200 mm
- b. Tinggi balok rencana (h) = 300 mm
- c. Panjang balok rencana (L) = 2000 mm
- d. β_1 ($f'_c < 28$ MPa) = 0,85
- e. Diameter tulangan pokok (d_p) = 10 mm
- f. Diameter tulangan Sengkang (d_{sk}) = 6 mm
- g. Selimut beton (s_b) = 40 mm
- h. Kuat tekan beton hasil uji (f'_c) = 24,1406 MPa
- i. Tegangan leleh baja hasil uji (f_{yb}) = 431,9044 MPa
- j. Tegangan leleh CFRP hasil uji (f_{yc}) = 491,9887 MPa
- k. Tulangan baja yang didesain ialah 3P10.

2. Gaya tekan beton (C_c) dihitung dengan persamaan 3.10.

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f'_c \times a \times b \\ &= 0,85 \times 24,1406 \times a \times 200 \\ &= 4103,8987 \times a \end{aligned}$$

3. Gaya Tarik baja tulangan (T_s) dihitung dengan persamaan 3.11.

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 3 \times 431,9044 \\ &= 101765,0882 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Karena nilai C_c sama dengan nilai T_s , maka dari persamaan 3.14 dapat diperoleh nilai tinggi blok tegangan tekan beton persegi (a) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{101765,0882}{4103,8987} \\ &= 24,7972 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. Kemudian, karena nilai a sudah diketahui, selanjutnya nilai C_c dapat dicari.

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 24,1406 \times 24,7972 \times 200 \\ &= 101765,0882 \text{ N} \end{aligned}$$

6. Dari persamaan 3.13, dapat diketahui luas tulangan CFRP ($A_{s \text{ CFRP}}$) asumsi dengan langkah berikut.

$$\begin{aligned} C_c &= T_s \\ C_c &= A_{s \text{ CFRP}} \times f_{y_c} \\ A_{s \text{ CFRP}} &= \frac{C_c}{f_{y_c}} \\ &= \frac{101765,0882}{491,9887} \\ &= 206,8444 \text{ mm} \end{aligned}$$

7. Diketahui ketebalan CFRP sebesar 0,3 mm dan diasumsikan dilapis hingga 8 lapis, maka ketebalan CFRP menjadi 2,4 mm. Lalu agar tulangan CFRP memiliki persamaan yang cukup signifikan dengan tulangan baja, maka tulangan CFRP didesain berjumlah 3 buah pada masing-masing baloknya. Sehingga, lebar tulangan CFRP yang dibutuhkan dapat diketahui dengan cara berikut.

$$A_{s \text{ CFRP}} = \text{lebar} \times \text{tebal} \times \text{jumlah}$$

$$\begin{aligned} \text{lebar} &= \frac{A_{s \text{ CFRP}}}{\text{tebal} \times \text{jumlah}} \\ &= \frac{206,8444}{2,4 \times 3} \\ &= 28,7284 \text{ mm} \approx 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka tulangan CFRP rencana yang akan digunakan sebanyak 3 buah dengan lebar 30 mm dan tebal 2,4 mm.

5.6 Pengujian Utama

5.6.1 Pengujian *Pull Out*

Pengujian Lekatan CFRP terhadap beton dilakukan dengan Uji *Pull Out*. Uji *pull out* dilakukan setelah kubus beton berumur 28 hari yang dirawat dengan cara direndam air, lalu dikeringkan sehari sebelum pengujian dilaksanakan. Pengujian ini dilakukan pada mesin Hung-Ta : *Tensile Compression*. Setelah beberapa sampel material berupa *carbon fiber* dan CFRP mengalami *slip* saat pengujian berlangsung, maka pengujian ini dilaksanakan untuk melihat perilaku lekatan CFRP terhadap beton. Berikut adalah benda uji *pull out* yang akan diuji yang ditunjukkan dalam Gambar 5.28.



Gambar 5.28 Benda Uji *Pull Out*

Benda uji *pull out* setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.29.



Gambar 5.29 Benda Uji *Pull Out* Setelah Diuji

Dari pengujian *pull out* yang telah dilakukan, diperoleh nilai beban maksimum yang dapat ditahan. Hasil pengujian *pull out* dapat dilihat dalam Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Pengujian *Pull Out*

Kode Balok	Beban Ultimit		μ (MPa)
	P (kgf)	Pu (N)	
PO 1	294	2884,140	0,3846
PO 2	313,5	3075,435	0,4100
PO 3	250,5	2457,405	0,3277
PO 4	199,5	1957,095	0,2609
PO 5	256,5	2516,265	0,3355

Di bawah ini ialah contoh untuk perhitungan tegangan lekat CFRP.

1. Diketahui : $l_d = 150 \text{ mm}$; $b_t = 25 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 2. P_u &= P \times 9,81 \\
 &= 294 \times 9,81 \\
 &= 2884,140 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \mu &= \frac{P_u}{2 \times l_d \times b_t} \\
 &= \frac{2884,140}{2 \times 150 \times 25} \\
 &= 0,3846 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan untuk pengujian *pull out*, diperoleh nilai tegangan lekat (μ) rata-rata sebesar 0,3437 MPa. Kemudian, hasil

yang didapatkan secara *visual* ialah tidak terjadinya keruntuhan lekatan. Hal ini dikarenakan tidak adanya satupun syarat terjadinya peristiwa keruntuhan lekatan. Namun, karena tidak terjadi keruntuhan lekatan, diasumsikan bahwa nilai tegangan lekatan yang sesungguhnya dapat lebih besar daripada nilai tegangan lekat CFRP terhadap beton dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Maka dari itu, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai tegangan lekat yang diperoleh bukan merupakan nilai tegangan lekat CFRP terhadap beton yang sesungguhnya.

Akan tetapi, jika dilihat dari proses pengujian, yang terjadi ialah ketika beban terus bertambah, tiba-tiba CFRP mengalami putus pada bidang di dekat kubus beton. Pada permukaan beton pun tidak terlihat adanya patahan maupun retakan yang terjadi. Hal ini dapat terjadi karena luas permukaan lekatan yang jauh lebih besar daripada luas permukaan tarik dari material CFRP itu sendiri. Sehingga, yang terjadi ialah putusnya CFRP akibat kegagalan material.

5.6.2 Pengujian Berat Volume

Pengujian berat volume balok beton dilakukan setelah benda uji beton berumur 28 hari yang dirawat dengan cara ditutupi karung basah dan dikeringkan sebelum melakukan penimbangan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui berat volume dari balok beton. Hasil analisis berat volume balok beton dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Berat Volume Balok Beton

Kode balok	Berat (kN) W	Berat (kg) m	Volume (m ³) V	Berat Volume (kg/m ³) D	Rerata Berat Volume (kg/m ³)	Penurunan Berat Volume (%)
BK 1	2,885	294,0877	0,1180	2492,6030	2427,9215	-
BK 2	2,888	294,3935	0,1206	2441,0736		-
BK 3	2,885	294,0877	0,1251	2350,0880		-
BV I-1	2,885	294,0877	0,1234	2383,8052	2368,410	1,8170
BV I-2	2,885	294,0877	0,1236	2380,2744		1,9625
BV I-3	2,760	281,3456	0,1218	2310,1289		4,8516
BV I-4	2,885	294,0877	0,1226	2399,4323		1,1734

Berikut adalah contoh untuk perhitungan berat volume untuk BV I-1.

1. Diketahui : Kecepatan gravitasi (g) = $9,81 \text{ m/s}^2$; Volume (V) = $0,1234 \text{ m}^3$

$$\begin{aligned} 2. m &= W \times \frac{1000}{g} \\ &= 2,885 \times \frac{1000}{9,81} \\ &= 294,0877 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. D &= \frac{m}{V} \\ &= \frac{294,0877}{0,1234} \\ &= 2383,8052 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. \text{ Penurunan Berat} &= \frac{(\text{Dbk ave} - D_i)}{\text{Dbk ave}} \times 100 \\ &= \frac{(2427,9215 - 2383,8052)}{2427,9215} \times 100 \\ &= 1,8170\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian berat volume balok diperoleh nilai berat volume balok yang hampir serupa. Hal ini dikarenakan ketelitian dari *load cell* yang tidak dapat mendekati ketelitian 1 ton. Apabila dibandingkan dengan nilai rata-rata berat volume balok kontrol, berat volume pada balok variasi mengalami penurunan berat volume dengan nilai yang terbesarnya mencapai 4,8516%. Penurunan berat volume balok yang terjadi karena CFRP memiliki berat jenis yang sangat rendah jika dibandingkan dengan baja, yaitu $1,5 \text{ g/cm}^3$ yang mempengaruhi berat dari balok beton pula.

Akan tetapi, pada balok variasi ini masih terdapat tulangan baja yang berupa tulangan sengkang atau tulangan penahan geser. Digunakannya tulangan baja sebagai tulangan sengkang dikarenakan material CFRP memiliki sifat yang sangat getas. Sehingga, tidak memungkinkan CFRP untuk dilengkungkan atau dibengkokkan, karena CFRP akan langsung patah jika dibentuk menyerupai tulangan sengkang. Hal ini pula yang menyebabkan berat volume balok variasi tidak memiliki perbedaan cukup jauh dengan balok kontrol.

Dari penjelasan di atas menunjukkan bahwa penggunaan CFRP sebagai baja tulangan dapat mengurangi berat volume pada balok beton bertulang.

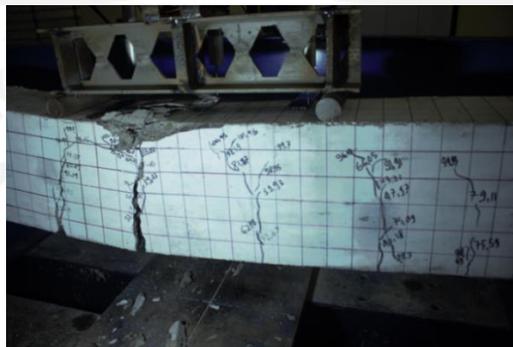
5.6.3 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan pada balok beton yang terdiri dari balok kontrol dan balok variasi. Pengujian dilaksanakan setelah benda uji berumur 28 hari yang telah melewati masa perawatan dengan cara ditutupi karung basah, kemudian dikeringkan beberapa hari sebelum melakukan uji lentur. Balok uji lentur yang sudah di-*setting* pada alat *hydraulic pump* dengan kapasitas 50 ton dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5.30 Setting Up Benda Uji Balok Beton

Gambar-gambar di bawah ini merupakan benda uji setelah dilakukan pengujian kuat lentur balok beton.



Gambar 5.31 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Kontrol



Gambar 5.32 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Variasi I



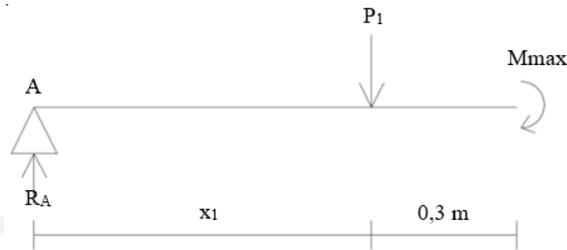
Gambar 5.33 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Variasi II

Hasil analisis kuat lentur balok beton dapat dilihat pada Tabel 5.14 di bawah ini.

Tabel 5.14 Kuat Lentur Balok Beton

Kode Balok	w (kN)	Pmax (kN)	L _{balok} (m)	L (m)	x ₁ (m)	x ₂ (m)	R _A (kN)	Mmax (kNm)	Mave (kNm)	Penurunan Kekuatan (%)
BK 1	2,885	113,51	2,02	1,785	0,580	0,605	57,5499	68,2392	67,3850	-
BK 2	2,888	112,26	2,01	1,785	0,580	0,605	56,9161	67,4975		-
BK 3	2,885	110,25	2,02	1,789	0,595	0,594	55,0942	66,4182		-
BV I-1	2,885	66,3	2,04	1,815	0,595	0,620	33,6066	40,6053	39,7135	39,7515
BV I-2	2,885	64,54	1,98	1,788	0,575	0,613	32,9558	39,0996		41,9855
BV I-3	2,760	71,32	1,98	1,801	0,595	0,606	35,8778	43,3738		35,6436
BV I-4	2,885	58,51	1,97	1,805	0,605	0,600	29,1740	35,7753		46,9179
BV II-1	2,635	70,82	2,02	1,8	0,590	0,610	35,8034	43,0164	37,4625	36,1740
BV II-2	2,635	57,01	1,98	1,785	0,585	0,600	28,7445	34,5204		48,7799
BV II-3	3,010	68,81	2,04	1,805	0,590	0,615	34,8815	41,9670		37,7311
BV II-4	3,010	49,47	2,02	1,805	0,590	0,615	25,0776	30,3464		54,9732

Di bawah ini ialah contoh untuk perhitungan kuat lentur BV I-1.



Gambar 5.34 Free Body Diagram dari Gaya Akibat Pengujian

1. Diketahui : Panjang fisik balok (L_{balok}) = 2,04 m

$$\begin{aligned}
 2. P_1 = P_2 &= \frac{P_{\text{max}}}{2} \\
 &= \frac{66,3}{2} \\
 &= 33,15 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. q_u &= \frac{w}{L_{\text{balok}}} \\
 &= \frac{2,885}{2,04} \\
 &= 1,4142 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung reaksi perletakkan (R_A) menggunakan persamaan 3.26.

$$\begin{aligned}
 R_A &= \frac{(P_1 \times (L - x_1)) + (P_2 \times x_2)}{L} \\
 &= \frac{(33,15 \times (1,815 - 0,595)) + (33,15 \times 0,620)}{1,815} \\
 &= 33,6066 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Menghitung momen maksimum (M_{max}) menggunakan persamaan 3.28.

$$\begin{aligned}
 M_{\text{max}} &= \left(\frac{1}{8} \times q_u \times L^2\right) + [(R_A \times (x_1 + 0,3)) + (P_1 \times 0,3)] \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 1,4142 \times 1,815^2\right) + [(33,6066 \times (0,595 + 0,3)) + (33,15 \times 0,3)] \\
 &= 40,6053 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6. \text{ Penurunan Kuat Lentur} &= \frac{(M_{\text{b k ave}} - M_i)}{M_{\text{b k ave}}} \times 100 \\
 &= \frac{(67,3850 - 40,6053)}{67,3850} \times 100 \\
 &= 39,7515\%
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan analisis, hasil pengujian kuat lentur yang telah dilaksanakan menunjukkan penurunan nilai kuat lentur beton pada balok beton variasi. Untuk BV I mengalami penurunan rata-rata sebesar 41,0746%, sedangkan untuk BV II mengalami penurunan rata-rata sebesar 44,4145% jika dibandingkan dengan nilai kuat lentur rerata balok kontrol.

Selain nilai kuat lentur yang rendah, hasil secara *visual* yang dapat diperhatikan pada saat pengujian berlangsung terlihat perbedaan peristiwa yang terjadi antara balok kontrol dengan balok variasi. Metode kehancuran pada balok kontrol terjadi secara perlahan, yaitu balok mengalami retakan yang kemudian menjulur ke atas. Lalu balok beton terlihat melendut karena baja di dalamnya mengalami leleh, hingga akhirnya pembebanan berhenti tanpa terjadinya patahan pada balok beton.

Metode kehancuran pada balok variasi terjadi dengan sangat cepat dan CFRP yang tidak putus secara bersamaan, melainkan satu per satu. Pembebanan terus bertambah hingga terjadi patahan pada satu buah CFRP, kemudian pembebanan turun. Setelah itu, pembebanan pun bertambah lagi hingga pembebanan turun karena sebuah CFRP mengalami patahan lagi, dan begitu seterusnya. Sampai semua tulangan CFRP sudah patah, pada Balok Variasi I balok beton mengalami patah dan terbelah menjadi dua. Namun, ketika semua tulangan CFRP sudah patah, pada Balok Variasi II balok beton mengalami patah namun tidak sampai terbelah karena pada balok variasi ini memiliki tulangan baja pada daerah tekan balok.

Putusnya CFRP yang terjadi secara satu per satu ini dikarenakan kekuatan dari tulangan CFRP yang tidak seimbang. Dimana ketika dalam sebuah balok terdapat satu buah tulangan CFRP yang lemah, maka CFRP tersebut akan mengalami putus terlebih dahulu, sedangkan CFRP yang lebih kuat akan bertahan sedikit lebih lama hingga nantinya mengalami putus. Ketidakeragaman kekuatan CFRP ini dapat dibuktikan dengan hasil pengujian tarik CFRP pada Tabel 5.10 yang mana dari keempat sampel CFRP terdapat dua buah sampel yang memiliki nilai tegangan ultimit ($f_{u \text{ CFRP}}$) dengan perbedaan yang cukup jauh dengan dua buah sampel lainnya, meskipun dari keempat sampel ini dilakukan proses pembuatan yang sama.

Penyebab dari kekuatan CFRP yang tidak seimbang ialah hasil CFRP yang kurang baik dari proses fabrikasi yang dilakukan. Proses pembuatan serat karbon yang dilapisi oleh resin menjadi sebuah material komposit CFRP dilakukan hanya dengan metode *manual hand lay-up*. Metode ini merupakan metode fabrikasi CFRP yang paling sederhana, sehingga besar kemungkinan untuk terjadinya *human error* saat proses berlangsung.

Material komposit memiliki hubungan yang kuat dengan *interface*. *Interface* komposit merupakan interaksi atau ikatan antara matriks polimer (resin) dengan serat penguat (serat karbon) yang berperan dalam menyalurkan beban dari matriks menuju serat. Morfologi dan struktur serat karbon dan matriks resin mempengaruhi interaksi serat-matriks pada daerah *interface* sehingga sangat menentukan sifat struktur komposit (Chen & Hojjati, 2007). Dikarenakan proses fabrikasi CFRP yang dilakukan secara manual, kemungkinan *interface* yang terjadi antara penguat serat karbon dan matriks resin tidak maksimal, yang menyebabkan sifat mekanik pada CFRP tidak bekerja secara optimal.

Hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa balok variasi mengalami penurunan kekuatan yang cukup besar jika dibandingkan dengan kuat lentur balok kontrol. Hal ini dibuktikan dengan nilai kuat lentur balok variasi yang mengalami penurunan pada BV I sebesar 40,9844% dan BV II sebesar 44,4548% dari rerata kuat lentur BK. Berdasarkan hal tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan CFRP sebagai bahan pengganti baja tulangan dapat memberikan pengaruh berupa penurunan kuat lentur pada balok bertulang. Selain itu, jika dilihat dari pengamatan *visual* pun metode kehancuran yang terjadi berupa runtuhnya balok secara tiba-tiba dapat sangat membahayakan.

Hal yang telah dijelaskan di atas berbanding terbalik dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Norazman Moh. Nor (2013) dengan benda uji balok kecil yang berukuran $600 \times 150 \times 150$ mm dengan tulangan CFRP berukuran $450 \times 60 \times 4,5$ mm dengan jarak selimut beton 25 mm. Dalam penelitian tersebut mengatakan bahwa

penggunaan CFRP sebagai pengganti baja dalam beton bertulang dapat menguatkan beton pada bidang tarik dan dapat berperan baik dalam menahan beban lentur. Berdasarkan dua buah penelitian yang cukup serupa telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa ternyata penggunaan CFRP sebagai pengganti baja tulangan pada sampel balok kecil tidak dapat mewakili kekuatan lentur pada balok beton dengan ukuran yang sebenarnya. Hal ini disebabkan oleh adanya teori *size effect law* yang menyebutkan bahwa semakin bertambahnya ukuran benda uji menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan pada benda uji tersebut. Dimana, pada benda uji yang lebih besar, meningkatkan peluang terjadinya kerusakan pada bagian terlemah. Sebaliknya, untuk benda uji yang lebih kecil, peluang terjadinya cacat atau kerusakan di bagian terlemah berkurang (Talinusa dkk, 2014).

Selain itu, jika dibandingkan dengan metode dan CFRP yang digunakan, kedua penelitian ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Penelitian oleh Nor (2013) ini dilakukan dengan bentuk tulangan CFRP yang terbentang menyerupai pelat dengan ukuran $450 \times 60 \times 4,5$ mm, dan penelitian ini dilakukan dengan bentuk tulangan CFRP yang menyerupai baja dengan ukuran $1920 \times 30 \times 2,4$ mm yang berjumlah 3 buah tulangan per balok.

Pada penelitian dengan bentuk tulangan CFRP menyerupai baja ini, memiliki nilai kuat lentur balok yang jauh lebih kecil daripada kuat lentur balok dengan tulangan baja. Hal tersebut dikarenakan tulangan CFRP yang tidak bekerja secara bersamaan, kemudian mengalami putus secara satu per satu, dan akhirnya nilai kuat lentur yang diperoleh tidak maksimal. Sedangkan pada penelitian dengan bentuk tulangan CFRP menyerupai pelat, tulangan CFRP akan bekerja secara bersamaan sebagai sebuah tulangan secara optimal. Maka dari itu, kuat lentur balok beton yang dihasilkan dapat lebih kuat daripada balok bertulangan baja. Namun, tulangan ini akan membuat pengaplikasian di lapangan lebih sulit untuk dilakukan dalam hal pengecoran beton.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan serta analisis dan pembahasan seperti yang dilakukan di atas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai tegangan lekatan yang diperoleh dari hasil pengujian *pull out* ialah sebesar 0,3437 MPa. Secara *visual*, benda uji mengalami putusnya tulangan CFRP tanpa terjadi keruntuhan lekatan yang dikarenakan kegagalan material.
2. Hasil pengujian berat balok yang telah dilakukan ialah terjadinya penurunan berat volume pada balok variasi dimana nilainya yang paling besar hingga mencapai 4,8516% dari rata-rata berat volume balok kontrol dikarenakan nilai berat jenis dari CFRP yang kecil. Hal ini berarti CFRP dapat memberikan pengaruh terhadap berat balok beton bertulang berupa penurunan berat volume.
3. Pada pengujian kuat lentur balok beton yang telah dilaksanakan menghasilkan nilai penurunan kekuatan kuat lentur beton pada BV I sebesar 40,0764% dan sebesar 44,4145% pada BV II jika dibandingkan dengan rerata nilai kuat lentur beton balok kontrol. Hal ini dikarenakan CFRP yang putus terjadi secara satu-per satu, yang disebabkan oleh ketidakseimbangan kekuatan CFRP dalam sebuah balok. Selain itu, secara *visual* yang dapat diperhatikan ialah peristiwa keruntuhan beton yang terjadi secara tiba-tiba, sehingga dapat membahayakan bagi manusia.

6.2 Saran

Penelitian yang sudah terlaksana ini tentunya masih sangat jauh dari kata sempurna. Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan, disarankan beberapa hal dalam upaya untuk memperbaiki dan mengembangkan penelitian ini lebih lanjut seperti yang disebutkan sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya dilakukan fabrikasi dengan cara yang lain, seperti *vacuum bagging* atau *vacuum infusion process*, untuk meminimalisir adanya *human error*, sehingga nilai tegangan yang diperoleh pun dapat lebih besar.
2. Memodifikasi bentuk, ukuran, dan jumlah dari CFRP yang akan dijadikan tulangan pada balok beton.
3. Melakukan pengujian dan perhitungan terhadap kuat tarik CFRP yang baik dan benar sesuai dengan ketentuan yang telah berlaku.
4. Mencari tahu lagi teori untuk melakukan pengujian *pull out* terutama untuk luas permukaan lekatan yang akan digunakan.
5. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan tulangan dari CFRP sepenuhnya tanpa tulangan baja sama sekali untuk memperoleh nilai berat balok dengan tulangan CFRP yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Admin. 2018. Coursewok Example : Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP) (Online). (<https://courseworkspot.com/2018/03/coursewok-example-carbon-fibre-reinforced-polymers-cfrp>). Diakses Maret 2020).
- American Society for Testing and Materials. 2002. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. ASTM Designation: D 3039/D 3039M-00. West Conshohocken. PA.
- Anon. 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI 1982)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan PU. Bandung
- Asroni, A. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional Jakarta. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. BSN. Jakarta.
- Bahar, S., dkk. 2004. *Pedoman Pekerjaan Beton*. PT. Wijaya Karya. Jakarta.
- Chen, J. dan Hojjati, M. 2007. Microdielectric Analysis and Curing Kinetics of an Epoxy Resin System. *Polymer Engineering and Science*. Vol. 4, No. 2, pp 150-158. California.
- Christiawan, I. 2009. Perkuatan (*Strengthening*) Struktur Beton dengan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*. *Tugas Akhir*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Daryanto, A. 2007. Eksperimental dan Analisis Pemodelan Uji Tarik Plat Logam (*Sheet Metal*) dengan Standar ASTM E 8M. *Tesis*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Ginardi, I.P. 2014. Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan *CFRP* dan *GFRP*. *Tugas Akhir*. Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Malang.
- Kristiandono, Y. 2019. Analisis Pengaruh Campuran Serat Karbon Terhadap Kekuatan Beton dalam Menahan Beban Desak, Beban Tarik, dan Beban Lentur. *Tugas Akhir*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

- Meier, M. et al. 1997. Effect of Elevated CO₂ on The Carbon Balance on a Grass-Clover Mixture. *Acta Oeologica*. Vol. 18, Issue 3, pp. 313-317. Switzerland.
- Nawy, E.G. 1985. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Terjemahan oleh Bambang Suryoatmono, 1990. PT ERESKO. Bandung.
- Nor, N.M. et al. 2013. Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) as Reinforcement for Concrete Beam. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Vol 3, Issue 3. Malaysia.
- Nuryani. 2005. Pengaruh Rasio Tulangan Pada Berbagai Mutu Beton Terhadap Penguatan Tarik Baja Tulangan Beton Bertulang (*Tension Stiffening Effect*). *Tesis*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Octaviani, F., dkk. 2016. Pengujian Kuat Tekan Mortar dan Beton Ringan Dengan Menggunakan Agregat Ringan Batu Apung dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 4, No.4, pp. 271-278. Manado.
- Onal, M.M. 2009. Reinforcement of Beams by Using Carbon Fiber Reinforced Polymer in Concrete Buildings. *Scientific Research and Essay*. Vol. 4 (10), pp.1136-1145. Turkey.
- Pramono, A.E. 2012. Karakteristik Komposit Karbon-Karbon Berbasis Limbah Organik Hasil Proses Tekan Panas. *Disertasi*. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Depok.
- Pramono, D. dan Suryadi, H.S. 2008. *Bahan Konstruksi Teknik*. Diktat Kuliah Universitas Gunadarma. Jakarta.
- Putra, G. S. 2016. Analisa Kekuatan Rangka *Road Bike* dengan Variasi Arah Serat, Jumlah Lapisan, dan Jenis Material *Carbon Fiber*. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Santosa, T.H. 2003. Perencanaan dan Pembuatan Robot Otomatis dengan Spesifikasi KRI 2003.
- Setiawan, A. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Erlangga. Jakarta.
- SNI. 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Standar Nasional Indonesia. SK-SNI T-15-1991-03.

- SNI. 1994. *Semen Portland Komposit*. Standar Nasional Indonesia. SNI 15-2049-1994.
- SNI. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Standar Nasional Indonesia. SNI 03-2843-2000.
- SNI. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Standar Nasional Indonesia. SNI 03-1729-2002.
- SNI. 2002. *Spesifikasi Bahan Bangunan Indonesia*. Standar Nasional Indonesia. SNI 03-6961-2002.
- SNI. 2008. *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton*. Standar Nasional Indonesia. SNI 1973:2008.
- SNI. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Standar Nasional Indonesia. SNI 2847-2013.
- Talinusa, O.G.,dkk. 2014. Pengaruh Dimensi Benda Uji Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2, No. 7, pp. 344-351. Manado.
- Tumiwa, B. 2016. Pemeriksaan Tegangan Lekat Antara Baja dan Beton Dengan Kuat Tekan Beton 40 MPa. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado*. Vol. 4, No. 1, pp. 65-73. Manado.



The background features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem with a stylized green and white floral or leaf-like design in the center. The word "ISLAM" is written in a serif font at the top of the shield. The words "UNIVERSITAS" and "INDONESIA" are written vertically on the left and right sides of the shield, respectively. Below the shield, there is Arabic calligraphy in a white, elegant script.

LAMPIRAN 1

Hasil Pengujian Agregat

**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

(BERDASARKAN SNI 03-1970-1990)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda
NIM : 16511088
Tanggal Pembuatan : -
Tanggal Pengujian : 9 Oktober 2020

Uraian	Hasil
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1176
Berat piknometer berisi air, gram (B)	861
Berat jenis curah, gram/cm ³ $Bk / (B + 500 - Bt)$	(1) 2,632
Berat jenis jenuh kering muka, gram/cm ³ $500 / (B + 500 - Bt)$	(2) 2,703
Berat jenis semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	(3) 2,831
Penyerapan air, % $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$	(4) 2,67%

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

:

2. Darusalam, Amd

:

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



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

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT HALUS

(BERDASARKAN SNI 03-1970-1990)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda
NIM : 16511088
Tanggal Pembuatan : -
Tanggal Pengujian : 9 Oktober 2020

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0,00%	0,00%	100,00%
4,8	6	0,3020%	0,3020%	99,6980%
2,4	123	6,1902%	6,4922%	93,5078%
1,2	291	14,6452%	21,1374%	78,8626%
0,6	737	37,0911%	58,2285%	41,77115%
0,3	404	20,3322%	78,5606%	21,4394%
0,15	307	15,4504%	94,0111%	5,9889%
Sisa	119	5,9889%	100%	0%
Jumlah	1987	100%	258,7318%	-

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno : 
2. Darusalam, Amd : 

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



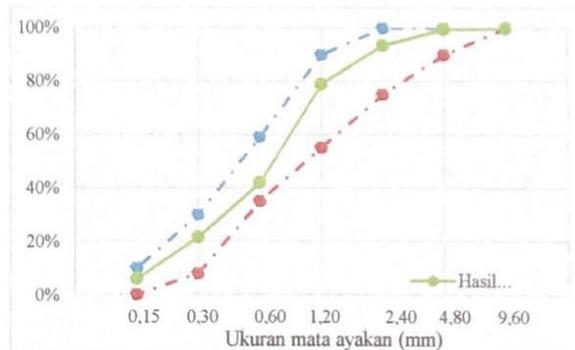
HASIL PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT HALUS

(BERDASARKAN SNI 03-1970-1990)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda
NIM : 16511088
Tanggal Pembuatan : -
Tanggal Pengujian : 9 Oktober 2020

Hasil Analisa Saringan

- Pasir masuk ke dalam daerah gradasi no. II
- Jenis pasir berupa pasir agak kasar



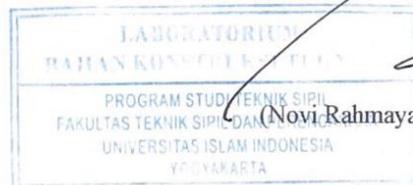
Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

2. Darusalam, Amd

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN KANDUNGAN LUMPUR AGREGAT HALUS

(BERDASARKAN SNI 03-1970-1990)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 9 Oktober 2020

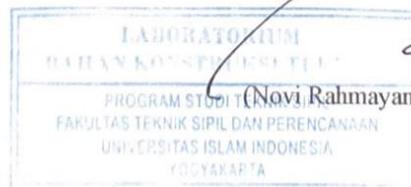
Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Agregat Kering Oven, gram (w1)	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, gram (w2)	492
Berat yang Lolos Ayakan No. 200, % [(w1 - w2) / w1] x 100%	1,60%

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno : 
2. Darusalam, Amd : 

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

اجتازت الامتحان

**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

(BERDASARKAN SNI 03-1970-1990)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 9 Oktober 2020

Uraian		Hasil
Berat kerikil kering mutlak, gram	(Bk)	4913
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	(Bj)	5000
Berat kerikil dalam air, gram	(Ba)	3094
Berat jenis curah, gram/cm ³ Bk / (Bj - Ba)	(1)	2,5776
Berat jenuh kering muka, gram/cm ³ Bj / (Bj - Ba)	(2)	2,6233
Berat jenis semu Bk / (Bk - Ba)	(3)	2,7009
Penyerapan air, % (Bj - Bk) / Bk x 100%	(4)	1,77%

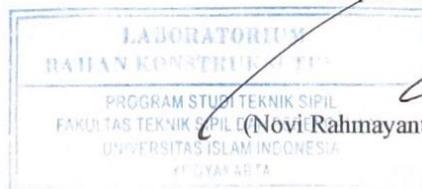
Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

2. Darusalam, Amd

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL (Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA



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

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT KASAR

(BERDASARKAN SNI 03-1970-1990)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 9 Oktober 2020

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0%	0%	100%
20	392	7,9192%	7,9192%	92,0808%
10	4039	81,5960%	89,5152%	10,4848%
4,80	476	9,6162%	99,1313%	0,8687%
2,40	3	0,0606%	99,1919%	0,8081%
1,20	1	0,0202%	99,2121%	0,7879%
0,60	0	0,0000%	99,2121%	0,7879%
0,30	0	0,0000%	99,2121%	0,7879%
0,15	0	0,0000%	99,2121%	0,7879%
Sisa	39	0,7879%	100%	0,0000%
Jumlah	4950	100,0000%	692,6061%	-

Mengetahui Laboran :

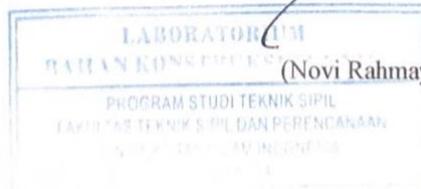
1. Suwarno

2. Darusalam, Amd

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT

(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)





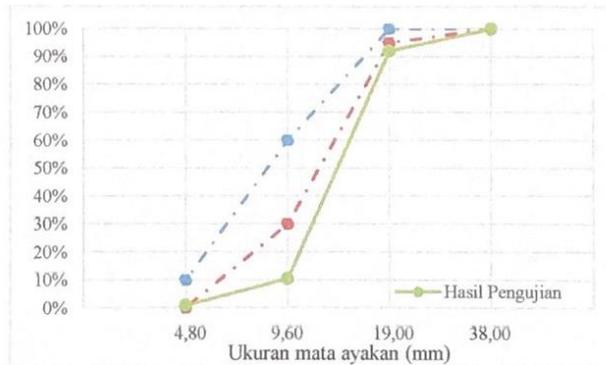
HASIL PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT KASAR

(BERDASARKAN SNI 03-1970-1990)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda
NIM : 16511088
Tanggal Pembuatan : -
Tanggal Pengujian : 9 Oktober 2020

Hasil Analisa Saringan

- Ukuran Agregat kasar maksimum 20 mm

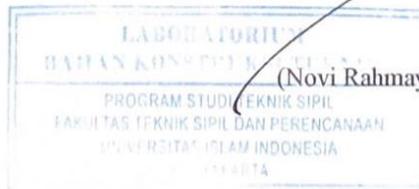


Mengetahui Laboran :

1. Suwarno :
2. Darusalam, Amd :

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

The background features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem with a stylized green and white symbol in the center, resembling a flame or a flower. The word "ISLAM" is written in a serif font above the symbol, and "UNIVERSITAS INDONESIA" is written vertically on either side. Below the shield, there is Arabic calligraphy in a stylized font.

LAMPIRAN 2

Hasil Pengujian Kuat Tarik

Lampiran 2 Hasil Pengujian Tarik



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN TARIK BAJA P6

(BERDASARKAN SNI 03-2529-1991)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda
NIM : 16511088
Tanggal Pembuatan : -
Tanggal Pengujian : 7 Oktober 2020

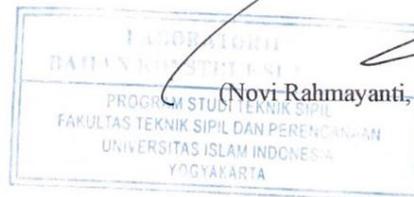
Uraian	Perhitungan	Nilai	Satuan
Beban Leleh (Py)	$Py = py \times 9,81$ $= 1656 \times 9,81$ $= 16245,36$	1656	kgf
		16245,36	N
Beban Ultimit (Pu)	$Pu = pu \times 9,81$ $= 2386,5 \times 9,81$ $= 23411,565$	2386,5	kgf
		23411,565	N
Diameter Tulangan (d)	-	6,95	mm
Luasan Baja (A)	$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$ $= \frac{1}{4} \times \pi \times 6,95^2$ $= 37,9367$	37,9367	mm ²
Tegangan Leleh (fy)	$fy = \frac{Py}{A} = \frac{16245,36}{37,9367}$ $= 428,2229$	428,2229	MPa
Tegangan Ultimit (fu)	$fu = \frac{Pu}{A} = \frac{23411,565}{37,9367}$ $= 617,1219$	617,1219	MPa

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno : 
2. Darusalam, Amd : 

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN TARIK BAJA P6

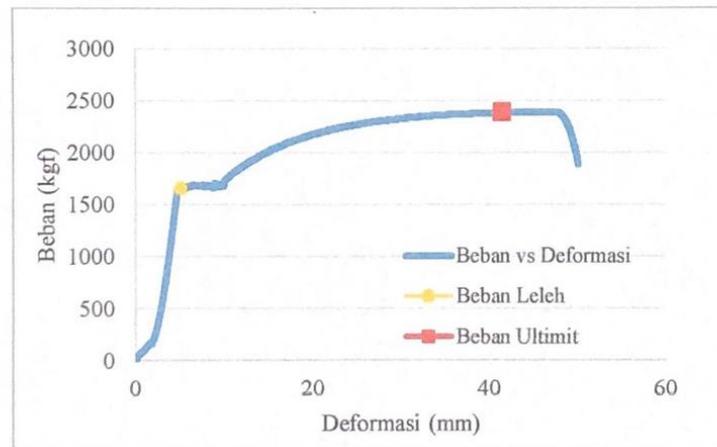
(BERDASARKAN SNI 03-2529-1991)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 7 Oktober 2020



Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

2. Darusalam, Amd





HASIL PENGUJIAN TARIK BAJA P10

(BERDASARKAN SNI 03-2529-1991)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 7 Oktober 2020

Uraian	Perhitungan	Nilai	Satuan
Beban Leleh (P_y)	$P_y = p_y \times 9,81$ $= 3996 \times 9,81$ $= 39200,76$	3996	kgf
		39200,76	N
Beban Ultimit (P_u)	$P_u = p_u \times 9,81$ $= 5958 \times 9,81$ $= 58447,98$	5958	kgf
		58447,98	N
Diameter Tulangan (d)	-	10,75	mm
Luasan Baja (A)	$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$ $= \frac{1}{4} \times \pi \times 10,75^2$ $= 90,7626$	90,7626	mm ²
Tegangan Leleh (f_y)	$f_y = \frac{P_y}{A} = \frac{39200,76}{90,7626}$ $= 431,9045$	431,9045	MPa
Tegangan Ultimit (f_u)	$f_u = \frac{P_u}{A} = \frac{58447,98}{90,7626}$ $= 643,9656$	643,9656	MPa

Mengetahui Laboran :

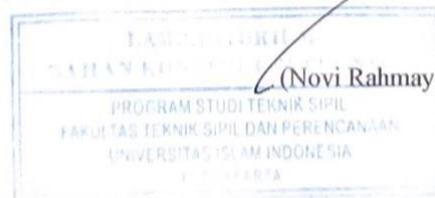
1. Suwarno

2. Darusalam, Amd

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT

(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)





HASIL PENGUJIAN TARIK BAJA P10

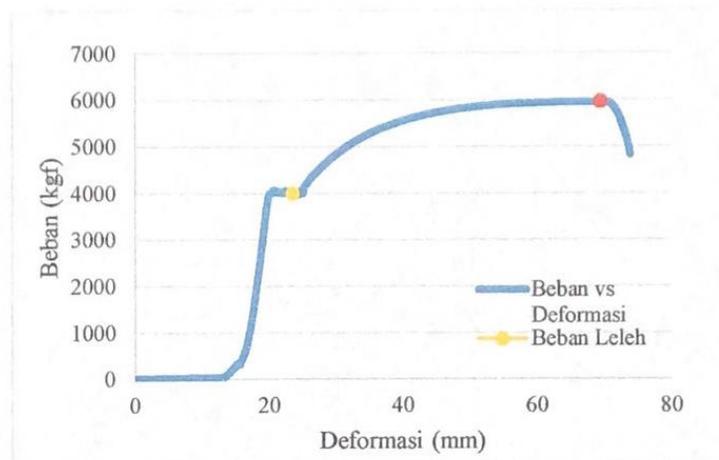
(BERDASARKAN SNI 03-2529-1991)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 7 Oktober 2020



Mengetahui Laboran :

1. Suwarno :

2. Darusalam, Amd :





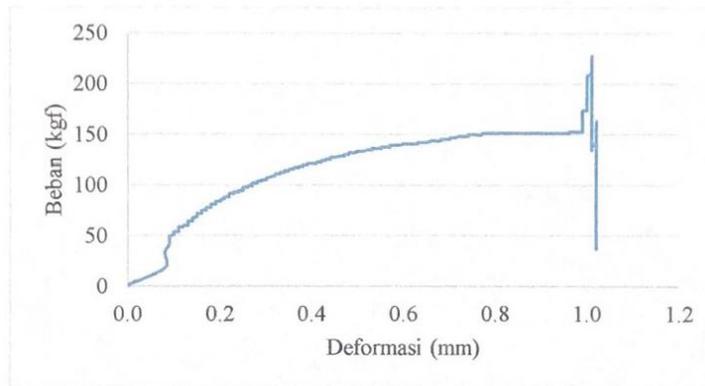
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN TARIK CARBON FIBER TRIAL 1

(BERDASARKAN SNI 03-2529-1991)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda
NIM : 16511088
Tanggal Pembuatan : -
Tanggal Pengujian : 7 Oktober 2020

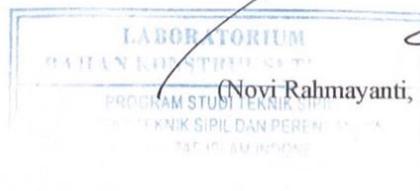


Mengetahui Laboran :

1. Suwarno :
2. Darusalam, Amd :

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN TARIK CARBON FIBER TRIAL II

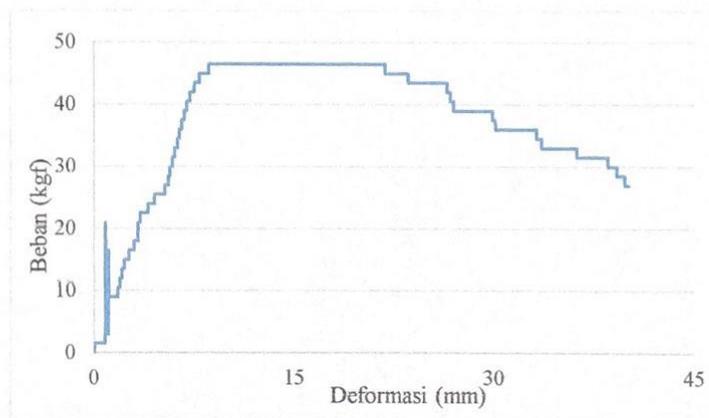
(BERDASARKAN SNI 03-2529-1991)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 7 Oktober 2020

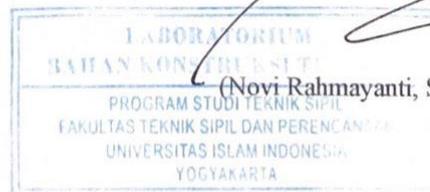


Mengetahui Laboran :

1. Suwarno :
2. Darusalam, Amd :

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



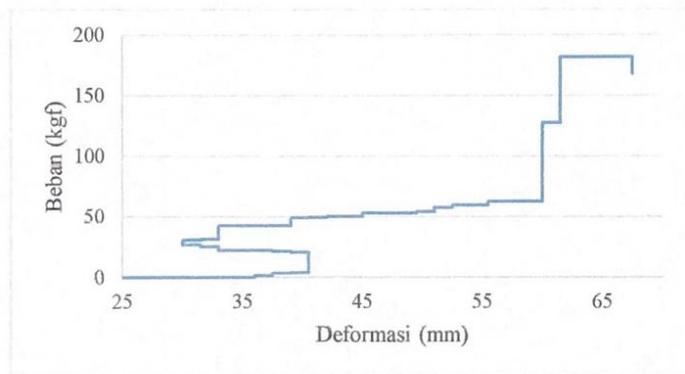
(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



HASIL PENGUJIAN TARIK CARBON FIBER TRIAL III

(BERDASARKAN SNI 03-2529-1991)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda
NIM : 16511088
Tanggal Pembuatan : -
Tanggal Pengujian : 14 Oktober 2020



Mengetahui Laboran :

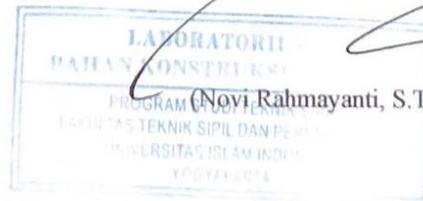
1. Suwarno
2. Darusalam, Amd

.....

.....

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



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

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN TARIK CARBON FIBER TRIAL IV

(BERDASARKAN SNI 03-2529-1991)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda
NIM : 16511088
Tanggal Pembuatan : -
Tanggal Pengujian : 14 Oktober 2020

Uraian	Perhitungan	Nilai	Satuan
Beban Ultimit (Pu)	$Pu = pu \times 9,81$ $= 677 \times 9,81$ $= 6641,37$	677	kgf
		6641,37	N
Luasan Baja (A)	$A = tebal \times lebar$ $= 0,3 \times 170$ $= 51$	51	mm ²
Tegangan Ultimit (fu)	$fu = \frac{Pu}{A} = \frac{6641,37}{51}$ $= 130,2229$	130,2229	MPa
Beban Leleh (Py)	$Py = py \times 9,81$ $= 384 \times 9,81$ $= 3767,04$	384	kgf
		3767,04	N
Tegangan Leleh (fy)	$fy = \frac{Py}{A} = \frac{3767,04}{51}$ $= 73,8635$	73,8635	MPa

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

:

2. Darusalam, Amd

:

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN TARIK CARBON FIBER TRIAL IV

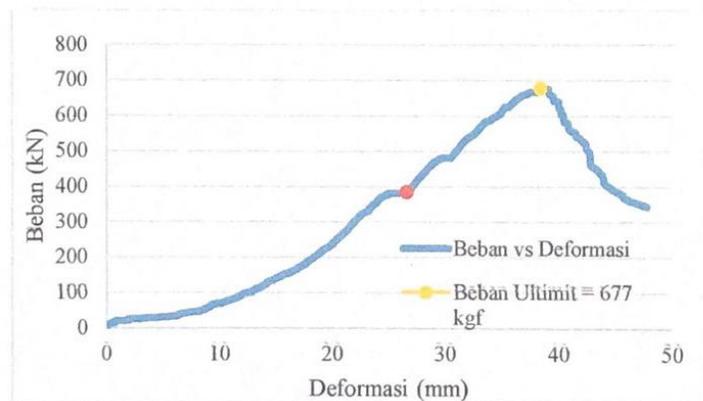
(BERDASARKAN SNI 03-2529-1991)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 14 Oktober 2020



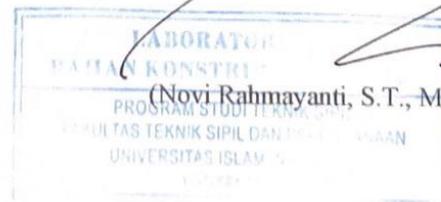
Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

2. Darusalam, Amd

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN TARIK RESIN

(BERDASARKAN ASTM D 3039)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 8 Desember 2020

Benda Uji	Beban Ultimit		Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	f _u (MPa)
	Pu (kgf)	Pu (N)				
Resin 1	190,5	1868,8050	2,017	24,187	48,7852	38,3068
Resin 2	172,5	1692,2250	1,983	23,433	46,4676	36,4173
Resin 3	151,5	1486,2150	2,067	23,567	48,7130	30,5096
Resin 4	184,5	1809,9450	2,233	23,3	52,0289	34,7873
Resin 5	180	1765,8000	2,03	23,73	48,1719	36,6562
Resin 6	183	1795,2300	2,05	27,3	55,9650	32,0777

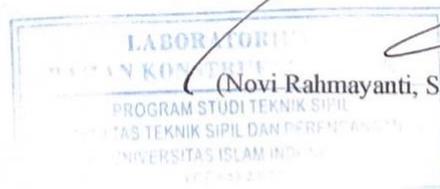
Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

2. Darusalam, Amd

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN TARIK CFRP

(BERDASARKAN ASTM D 3039)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda

NIM : 16511088

Tanggal Pembuatan : -

Tanggal Pengujian : 2 Desember 2020

Benda Uji	Beban Ultimit		Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	f _u (MPa)
	Pu (kgf)	Pu (N)				
CFRP 1	193,5	1898,235	0,3	23,54	7,062	268,7957
CFRP 2	478,5	4694,085	0,3	24,89	7,467	628,6440
CFRP 3	442,5	4340,925	0,3	24,06	7,219	601,3278
CFRP 4	313,5	3075,435	0,3	23,65	7,095	433,4651

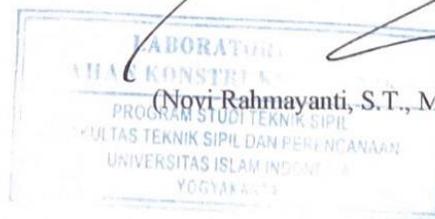
Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

2. Darusalam, Amd

Yogyakarta, 22 April 2021

Kepala Lab. BKT



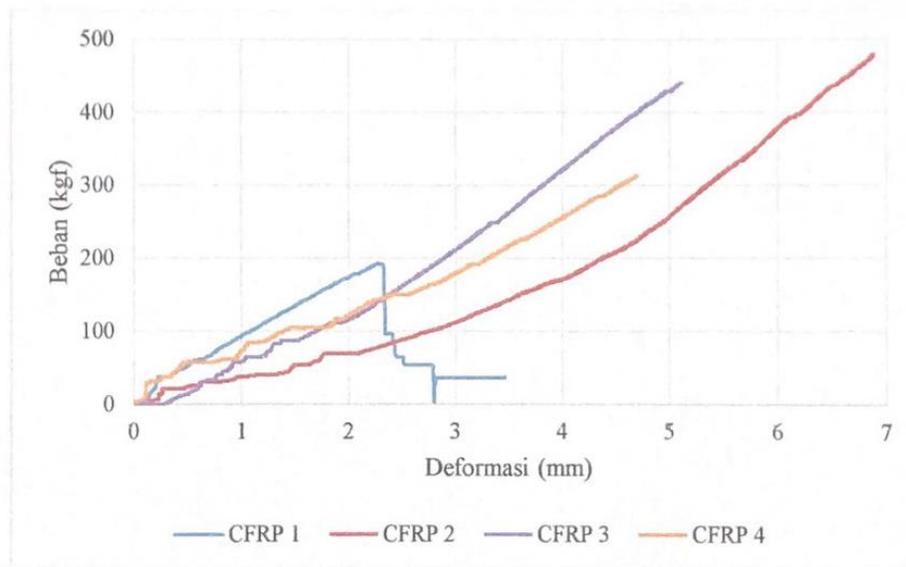
(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



HASIL PENGUJIAN TARIK CFRP

(BERDASARKAN ASTM D 3039)

Nama Peneliti : Amartya Rizki Ananda
NIM : 16511088
Tanggal Pembuatan : -
Tanggal Pengujian : 2 Desember 2020



Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

.....
(Signature)

2. Darusalam, Amd

.....
(Signature)



LAMPIRAN 3

Hasil Pengujian Kuat Desak Beton Silinder



Lampiran 3 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton Silinder



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

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI DESAK SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

Pemohon : Amartya Rizki A. (16511088) Dibuat Tanggal : 17 November 2020
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 18 Desember 2020
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab BKT

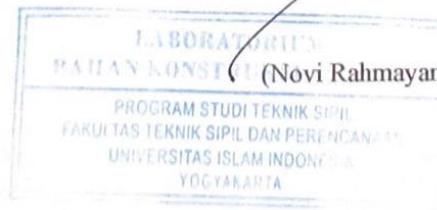
Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Luas penampang (cm ²)	Beban Maks. (kN)	f _c (MPa)
Silinder 1	15,065	30,096	12,425	178,249	420,4	23,585
Silinder 2	14,890	30,155	12,292	174,132	431,2	24,763
Silinder 3	15,105	30,353	12,834	179,197	431,4	24,074

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno : 
2. Darusalam, Amd : 

Yogyakarta, 25 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI DESAK SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

Pemohon : Amartya Rizki A. (16511088) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2020
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2020
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab BKT

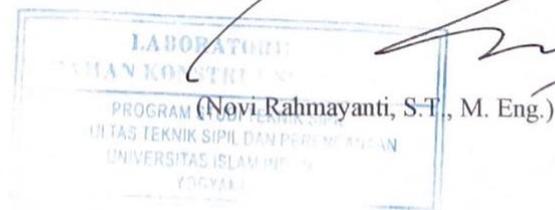
No	Kode Balok	Berat (kg)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Desak (Mpa)
1	SK1	1 12,81	149,4	305,8	31,94
2		2 12,5	150,8	304	31,91
3		3 12,49	149,8	304,8	39,15
4	SK2	1 12,39	150,3	303,7	24,80
5		2 12,05	149,1	304,5	29,78
6		3 12,5	149,9	304,5	32,02
7	SK3	1 12,47	151,6	303,8	26,32
8		2 12,59	149,9	303,2	27,77
9		3 12,48	151,1	298,2	32,90

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno : 
2. Darusalam, Amd : 

Yogyakarta, 25 April 2021

Kepala Lab. BKT



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI DESAK SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

Pemohon : Amartya Rizki A. (16511088) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2020
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2020
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab BKT

No	Kode Balok		Berat (kg)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Desak (Mpa)
1	SBVI-1	A	12,81	149,7	301,7	34,0893
2		B	12,79	149,6	304,8	31,5748
3	SBVI-2	A	12,56	150,2	298,8	25,3970
4		B	12,83	150,5	303,1	25,8580
5		C	12,71	151	302,4	32,3880
6		D	12,51	151,6	302,3	29,6391
7	SBVI-3	A	12,51	150,1	303,1	20,3447
8		B	12,73	149,4	302	32,515
9		C	12,6	149,7	304,6	32,9530
10	SBVI-4	A	12,47	150,3	304,2	34,9449
11		B	12,48	149,9	299,6	30,5985
12		C	12,69	151,6	301	30,1931

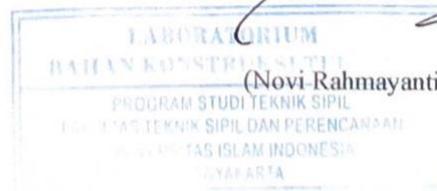
Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

2. Darusalam, Amd

Yogyakarta, 25 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)



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

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI DESAK SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

Pemohon : Amartya Rizki A. (16511088) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2020
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2020
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab BKT

No	Kode Balok	Berat (kg)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Desak (MPa)	
1	SBVII-1	A	12,40	152	302,1	18,7371
2		B	12,61	150	300,8	30,2748
3	SBVII-2	A	12,87	149,8	301,9	30,0720
4		B	12,69	150,1	302,2	31,0822
5		C	12,58	149,4	302,2	21,6767
6	SBVII-3	A	12,49	151,3	304	27,2539
7		B	12,18	150,6	301,4	35,3672
8		C	12,3	150,2	305	33,8627
9	SBVII-4	A	12,68	150,2	304,2	31,6052
10		B	12,61	151,1	301,8	29,5568
11		C	12,48	150,3	304,5	31,5631

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno

2. Darusalam, Amd

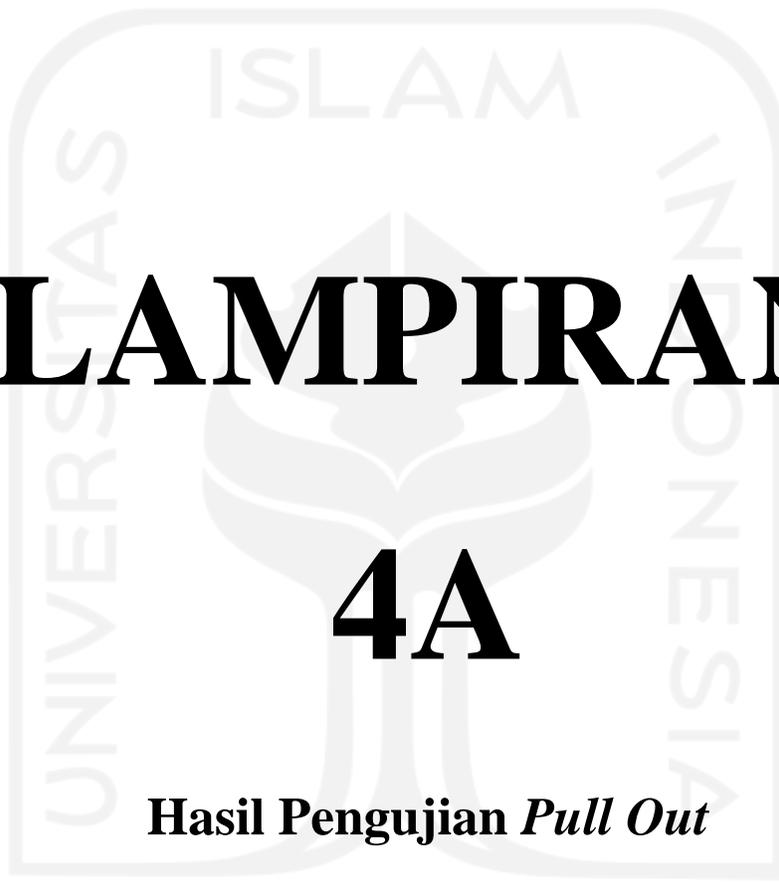



Yogyakarta, 25 April 2021

Kepala Lab. BKT



(Novi-Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

The background features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem with a stylized tree or flame-like symbol in the center. The text 'UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA' is written around the perimeter of the shield. At the bottom of the shield, there is Arabic calligraphy.

LAMPIRAN

4A

Hasil Pengujian *Pull Out*

Lampiran 4A Hasil Pengujian *Pull Out*



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI PULL OUT

(BERDASARKAN SNI 03-2847-2002)

Pemohon : Amartya Rizki A. (16511088) Dibuat Tanggal : 22 Desember 2020

Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 20 Januari 2021

Pekerjaan : Mahasiswa

Lokasi : Lab BKT

Kode Balok	PO1	PO2	PO3	PO4	PO5
P (kgf)	294	314	251	200	257
Pu (N) = P x 9,81	2884,140	3075,435	2457,405	1957,095	2516,265
ld (mm)	150				
tb (mm)	25				
μ (MPa) = $\frac{T}{ld \times tb}$	0,7691	0,8214	0,6566	0,5232	0,6723

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno :
2. Darusalam, Amd :

The background features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem with a stylized tree or plant in the center. The word "ISLAM" is written in a serif font at the top of the shield. The words "UNIVERSITAS" and "INDONESIA" are written vertically on the left and right sides of the shield, respectively. Below the shield, there is Arabic calligraphy in a stylized font.

LAMPIRAN

4B

Hasil Pengujian Berat Balok Beton

Lampiran 4B Hasil Pengujian Berat Balok Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta

Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI BERAT BALOK BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Amartya Rizki A. (16511088) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2020

Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 20 Januari 2021

Pekerjaan : Mahasiswa

Lokasi : Lab MR

Kode Balok	Tinggi (m) t	Lebar (m) l	Panjang (m) p	Volume (m ³) $V = t \times l \times p$	Berat (kg) W	Berat Volume (kg/m ³) $D = W/V$
BK 1	0,3	0,2	2	0,12	300,4587	2503,8226
BK 2					287,9715	2399,7621
BK 3					294,0877	2450,7305
BV 1-1					281,3456	2344,5464
BV 1-2					303,6442	2530,3687
BV 1-3					281,3456	2344,5464
BV 1-4					296,6361	2471,9674
BV 2-2					274,6975	2289,1459
BV 2-3					304,513	2537,6085
BV 2-4					306,8298	2556,9147

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno :

2. Darusalam, Amd :

The background features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem with a stylized tree or plant in the center. The word "ISLAM" is written in a serif font at the top of the shield. The words "UNIVERSITAS" and "INDONESIA" are written vertically on the left and right sides of the shield, respectively. Below the shield, there is Arabic calligraphy in a stylized font.

LAMPIRAN

4C

Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok

Lampiran 4C Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI KUAT LENTUR BALOK BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Amartya Rizki A. (16511088) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2020

Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 20 Januari 2021

Pekerjaan : Mahasiswa

Lokasi : Lab MR

Kode Balok	Panjang (m) L	Berat (kg) q_u	Beban Max (kN) P	P/2 (kN) P_1 dan P_2	x_1 (m)	x_2 (m)	Momen Max (kNm)
BK 1	2	300,4587	113,5100	56,7550	0,530	0,405	87,7139
BK 2		287,9715	112,2600	56,7550	0,53	0,405	87,6833
BK 3		294,0877	110,2500	55,1250	0,595	0,594	78,1994
BV 1-1		281,3456	66,3000	33,1500	0,595	0,620	47,0834
BV 1-2		303,6442	64,5400	32,2700	0,575	0,613	46,1163
BV 1-3		281,3456	71,3200	35,6600	0,595	0,606	50,5962
BV 1-4		296,6361	58,5100	29,2550	0,405	0,600	44,5369
BV 2-2		274,6975	57,0100	35,4100	0,590	0,610	-
BV 2-3		304,513	68,8100	28,5050	0,585	0,600	48,8278
BV 2-4		306,8298	49,4700	34,4050	0,590	0,615	35,3197

Mengetahui Laboran :

1. Suwarno :

2. Darusalam, Amd :

LAMPIRAN 5

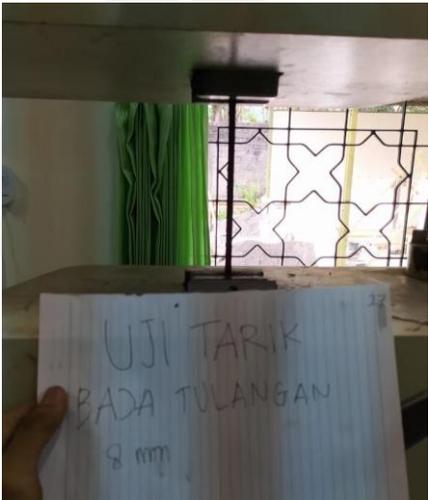
Dokumentasi

الجمعة الإسلامية الأندلسية

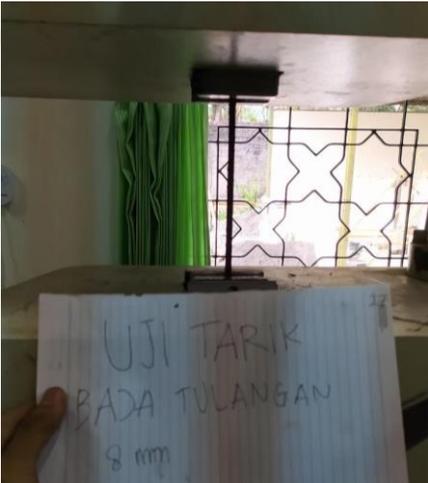
Lampiran 5 Dokumentasi



GAMBAR 1 PERSIAPAN PENGUJIAN AGREGAT



GAMBAR 2 PENGUJIAN BAJA P6



GAMBAR 3 PENGUJIAN BAJA P10



GAMBAR 4 PENGUJIAN CFRP



GAMBAR 5 PELAKSANAAN PENGADUKAN CAMPURAN BETON



GAMBAR 6 SILINDER *TRIAL MIX DESIGN*



GAMBAR 7 PERAWATAN SILINDER *TRIAL MIX DESIGN*



GAMBAR 8 PENGUJIAN DESAK SILINDER *TRIAL MIX DESIGN*



GAMBAR 9 CAMPURAN BETON KUBUS UJI *PULL OUT*



GAMBAR 10 PELETAKKAN CFRP DI KUBUS UJI *PULL OUT*



GAMBAR 11 BENDA UJI KUBUS *PULL OUT*



GAMBAR 12 PERAWATAN KUBUS UJI *PULL OUT*



GAMBAR 13 KUBUS UJI *PULL OUT* SETELAH PENGUJIAN



GAMBAR 14 PEMBUATAN CFRP



GAMBAR 15 PEMOTONGAN CFRP



GAMBAR 16 CFRP YANG SUDAH DIPOTONG



GAMBAR 17 PERAKITAN TULANGAN



GAMBAR 18 SAMPEL TULANGAN DENGAN CFRP



GAMBAR 19 PEMBUATAN BEKISTING BALOK



GAMBAR 20 BEKISTING YANG SUDAH TERPASANG TULANGAN



GAMBAR 21 AGREGAT YANG SUDAH DISIAPKAN



GAMBAR 22 PROSES PENCAMPURAN ADONAN BETON



GAMBAR 23 SAMPEL NILAI SLUMP CAMPURAN BETON



GAMBAR 24 PROSES PENCETAKAN BALOK BETON



GAMBAR 25 PROSES PENCETAKAN SILINDER KONTROL



GAMBAR 26 BALOK BETON SEBELUM MENERAS



GAMBAR 27 SILINDER KONTROL SEBELUM MENERAS



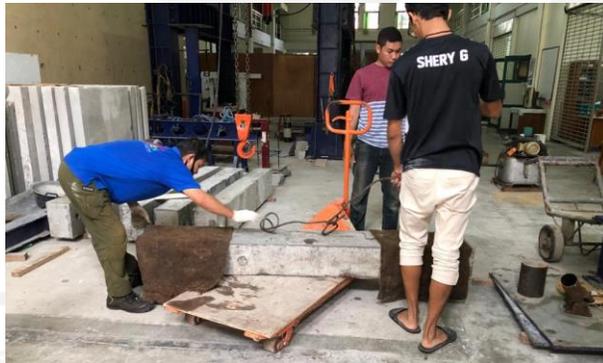
GAMBAR 28 PEMBUKAAN BEKISTING BALOK BETON DAN SILINDER KONTROL



GAMBAR 29 BALOK BETON DAN SILINDER KONTROL SETELAH DILEPAS DARI BEKISTING



GAMBAR 30 PERAWATAN BALOK BETON DAN SILINDER KONTROL



GAMBAR 31 PEMINDAHAN BALOK BETON



GAMBAR 32 PENIMBANGAN SILINDER KONTROL



GAMBAR 33 MARKING BALOK BETON



GAMBAR 34 CAPPING SILINDER KONTROL



GAMBAR 35 PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER KONTROL



GAMBAR 36 SAMPEL SILINDER KONTROL SETELAH PENGUJIAN



GAMBAR 37 PROSES SETTING UP ALAT PENGUJIAN



GAMBAR 38 PENGUJIAN BERAT BALOK BETON



GAMBAR 39 PROSES PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON



GAMBAR 40 SAMPEL KERUSAKAN BALOK VARIASI I



GAMBAR 41 SAMPEL KERUSAKAN BALOK VARIASI II