

**No.Inventaris : 327.S.01.2024**



**universitas  
MALIKUSSALEH**

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENGGUNAAN *CARBON NANOTUBE*  
TERHADAP KUAT TEKAN DAN DENSITAS  
MORTAR BETON**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada Program Studi Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh

**Disusun oleh:**

**Siti Sarah**

**190110116**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MALIKUSSALEH**

**2024**



## **SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya yang bertanda tangga di bawah ini :

Nama : Siti Sarah  
Nim : 190110116

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari skripsi, tesis, buku atau bentuk lain dari karya orang lain tanpa saya, sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan plagiat. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya orang lain yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah sebagai karya asli saya sendiri. Apabila ternyata terdapat dalam skripsi saya bagian-bagian yang memenuhi standar penjiplakan maka saya menyatakan kesedian untuk dibatalkan sebagai seluruh hak gelar kerjasama saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk dapat dipergunakan seperluanya.

Lhokseumawe, 06 Februari 2024  
Saya yang membuat pernyataan

Siti Sarah  
190110116

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan *Carbon Nanotube* Terhadap  
Kuat Tekan dan Densitas Mortar Beton  
Nama Mahasiswa : Siti Sarah  
NIM : 190110116  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jurusan : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh  
Pembimbing Utama : Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng  
Pembimbing Pendamping : Said Jalalul Akbar, ST., MT  
Ketua Penguji : Dr. Yulius Rief Alkhaly, ST., M.Eng  
Anggota Penguji : Emi Maulani, ST., MT

Lhokseumawe, 06 Februari 2024

Penulis

**Siti Sarah**

Nim. 19010116

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

**Dr. Maizuar, ST., M.Sc. Eng**  
NIP.197704182003121002

**Said Jalalul Akbar, ST., MT**  
NIP.197107032002121001

Mengetahui

Kordinator Program Studi

Wakil Dekan Bidang Akademik

**Nura Usrina, ST., MT**  
NIP.199004042023212058

**Dr. Ing. Sofyan, ST., MT**  
NIP.197508182002122003

## KATA PENGANTAR

Pertama-tama saya panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Skripsi dengan judul **Pengaruh Penggunaan *Carbon Nanotube* Terhadap Kuat Tekan dan Densitas mortar beton** ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat beriring salam tak lupa pula penulis kirimkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalam yang telah membawa manusia ke alam yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan masukan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Fitrah, ST., MT., IPM., ASEAN Eng selaku Rektor Universitas Malikussaleh
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, ST., MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Bapak Dr. Ing. Sofyan, ST., MT. Selaku Wakil Dekan Bidang Akademi Universitas Malikussaleh
4. Ibu Nura Usrina, ST., MT. selaku Kordinator Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.
5. Bapak Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng. Selaku dosen pembimbing utama.
6. Bapak Said Jalalul Akbar, ST., MT. Selaku dosen pembimbing pendamping.
7. Bapak Dr. Yulius Rief Alkhaly, ST., M.Eng. Selaku dosen ketua penguji.
8. Ibu Emi Maulani, ST., MT. Selaku dosen anggota penguji.
9. Keluarga besar yang tercinta yang selalu mendukung, memberi semangat dan selalu mendoakan setiap langkah saya.
10. Teman, teman seperjuangan yang membantu saya dalam segi pikiran, tenaga dan materi.

Teman-teman yang selalu membantu saya dalam segi pikiran, tenaga dan

materi. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini mungkin banyak terdapat kekurangan, penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya dan penulis mengharapkan kritik dan saran agar pada masa yang akan datang penulis dapat melakukan perbaikan untuk penulisan ilmiah lainnya. Akhirnya kepada Allah jualah kita menyerahkan segalanya, semoga penulisan ini dapat bermanfaat dan terima kasih.

Lhokseumawe, 06 Februari 2024

Siti Sarah  
190110116

## **LEMBAR PERSEMBAHAN**

### **BISMILLAHIRAHMANIRAHIM**

Segala puji syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Berkat Rahmat dan Hidayah-Nya telah memberikan kesempatan, kekuatan, membekaliku dengan ilmu atas karunia serta kemudahan yang telah engkau berikan akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat beserta salam saya hadiahkan kepada baginda Raasullah Shallallahu'alaihi Wassalam.

“Kamu layaknya karya seni. Tidak semua orang akan mengerti dirimu, tetapi orang-orang yang mengerti, tidak akan pernah melupakanmu.”

Tiada lembar skripsi yang paling indah dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan. Skripsi ini akan saya persembahkan untuk orang-orang yang saya sayangi dan cintai.

### **Keluarga**

Kepada ibunda Hj, Mawarni SE.,M.M dan kepada Ayahnda H.Ismail SE, sebagai tanda bakti hormat dan rasa terima kasi yang tiada hingga ku persembahkan karya kecil ini kepada ibunda dan ayahnda yang telah memberikan kasi sayang, dukungan dan rasa cinta tak terhingga. Terima kasi untuk semua yang telah diberikan kepada anak bungsu ini.

Teruntuk abangku tercinta Sosiawan Adyputra ST, kakak iparku tersayang Yuhizzah Alfira SE, dan kepada ponakan ku Sarfaraz Radeva Adyputra, terimakasih sudah menjadi penyemangat dan saudara terkuat setelah kedua orang tua. Terima kasih atas semua rasa sayang, do'a dan dukungan baik secara *finansial* maupun motivasi yang telah kalian berikan kepada adik. Sebagai tanda terima kasih aku persembahkan skripsi ini sebagai bukti terima kasi aku kepada abang, kaka, dan ponakan ku tersayang.

### **Dosen pembimbing**

Teruntuk Bapak Dr. Maizuar,ST.,M.Sc.Eng, dan Bapak Said Jalalul Akbar,ST.,MT. Selaku dosen pembimbing skripsi saya, terima kasi banyak telah membantu selama ini. Mungkin kata terima kasi saja tidak cukup untuk menebus semua kebaikan yang telah bapak berikan kepada saya, hanya Allah yang bisa membalas kebaikan bapak,mulai dari ilmu, kesabaran, keikhlasan yang telah bapak berikan kepada saya. Semoga Allah selalu melindungi bapak, beserta keluarga.

### **Teman-Teman**

Kepada sahabat-sahabat ku Oemar Diyan *Girls*, Rossa salsabila, SE, Shabrina Ulfatul Asra,A.Md, Raishatul Umami,A.Md, Jihan wilda, A.Md, Husna Khairunisak,S,Pd, Syifa Fajrina,S,Pd, Rana Raihana,S,Pd, Fadhila Maisura, dan Cut Farah Diba. Terima kasih selalu mendukung aku, mendegarkan keluhan ku dan selalu memberi semangat. Terima kasih selalu ada di setiap perjalanan hidup ku walaupun tidak di satu kota. Semoga kita selalu sama sampai tua dan menjadi sahabat till Jannah

Amiin...

Kepada *Crazy Rich*, Tisatun Hassanah,ST, Dinda Arga Putri, Ridhatul Al Vira, dan Shinta Rahmayanti,ST. Terima kasih telah menjadi teman, keluarga aku disini. Terima kasi sudah membersamai aku dari maba sampai aku menyelesaikan Skripsi ini. Terima kasih telah banyak membantu selama menyelesaikan skripsi ini. Memberikan waktu luang untuk bersama-sama selalu, memberi hal-hal yang baru.

Kepada Kanopi Lama, Muhammad Yasir Zuhdi Hasibuan, Rafli Aulia Permana, dan Bagas Irham Azzahri. Terima kasih sudah menjadi teman dekat di penghujung semester. Terima kasih atas waktu, tenaga, pikiran dan dukungan yang kali kasi ke aku.

Semoga Allah selalu melindungi kita amiin.

## **PENGARUH PENGGUNAAN *CARBON NANOTUBE* TERHADAP KUAT TEKAN DAN DENSITAS MORTAR BETON**

Oleh : Siti Sarah  
Nim : 190110116

Pembimbing Utama : Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng  
Pembimbing pendamping : Said Jalalul Akbar, ST., MT  
Ketua penguji : Dr. Yulius Rief Alkhaly, ST., M.Eng  
Anggota penguji : Emi Maulani, ST., MT

### **ABSTRAK**

*Carbon Nanotubes* (CNT) adalah salah satu jenis dari karbon nanostruktur. CNT adalah salah satu bahan nanopartikel yang memiliki efek dan perubahan pada komposit semen yang akhirnya mengarah pada peningkatan sifat mekanis dan durabilitas mortar beton. Penambahan CNT ke dalam komposit semen meningkatkan kekuatan tekan. Perencanaan campuran mortar beton dibuat berdasarkan SNI 03-6825-2002. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan dan densitas mortar beton yang disubstitusi dengan campuran CNT. Pada penelitian ini, menggunakan variasi substitusi CNT sebanyak 0,01%, 0,02%, 0,03% dan 0,04% dari berat semen. Menggunakan FAS sebesar 0,485, dan menggunakan SP sebesar 1.5% dari berat semen. Benda uji yang digunakan 5cm x 5cm x 5cm. Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan kuat tekan. Persentase kuat tekan mortar beton rata-rata sebesar 0% untuk variasi *Superplastisizer*, 1.5% untuk variasi 0.01%, 25% untuk variasi 0,02%, 31 % untuk variasi 0,03%, dan 14% untuk variasi 0,04%. Persentase substitusi CNT yang memiliki kuat tekan optimum adalah variasi penambahan sebanyak 0,03%. Sedangkan densitas mortar beton pada substitusi 0.03% mengalami peningkatan sebesar 4.5% dari mortar onontrol. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Substitusi CNT berpengaruh terhadap kuat tekan dan densitas mortar beton. CNT dapat berfungsi sebagai pengisi pori sehingga membuat beton lebih padat. CNT berfungsi untuk menstimulasi produks CSH dan menjadi filler.

**Kata kunci :** *Carbon nanotube, kuat tekan, densitas*

## DAFTAR ISI

<b>SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Metode Penelitian.....	3
1.7 Hasil Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Mortar Beton.....	5
2.2 Material Pembentuk Mortar Beton .....	6
2.2.1 Semen.....	6
2.2.2 Agregat halus.....	7
2.2.3 Air.....	8
2.2.4 <i>Superplasticizer</i> (SP) .....	8
2.2.5 <i>Carbon Nanotube</i> (CNT).....	8
2.3 Sifat Fisis Agregat.....	15
2.3.1 Berat jenis agregat ( <i>Spsific Grafity</i> ).....	15
2.3.2 Analisa saringan agregat ( <i>sieve analysis</i> ) .....	16

2.3.3 Berat volume agregat ( <i>bulk density</i> ) .....	16
2.4 Workabilitas dan Jumlah Air .....	17
2.5 Faktor Air Semen (FAS).....	17
2.6 Pengujian <i>Flow Table</i> .....	17
2.7 Kuat Tekan.....	18
2.8 Densitas.....	19
2.9 Penelitian Terdahulu.....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
3.1 Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	24
3.2 Bahan-Bahan Penelitian.....	25
3.2.1 Peralatan penelitian.....	27
3.2.2 Pembuatan benda uji.....	31
3.3 Perawatan Benda uji.....	33
3.4 Pengujian Benda uji.....	33
3.5 Pengumpulan Data.....	33
3.5.1 Data primer.....	34
3.5.2 Data sekunder.....	34
3.1 Pengolahan Data.....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>37</b>
4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat .....	37
4.1.2 Pengujian kelembaban.....	37
4.1.3 Pengujian berat volume padat agregat halus .....	38
4.1.4 Pengujian berat volume gembur agregat halus .....	38
4.1.5 Pengujian analisa saringan dan modulus halus butir.....	38
4.1.6 Pengujian kadar organik.....	39
4.1.7 Pengujian berat jenis semen .....	40
4.1.8 Rancangan campuran ( <i>mix design</i> ) .....	40
4.1.9 Perawatan mortar beton.....	41
4.1.10 Pengujian <i>slump flow</i> .....	41
4.1.11 Kuat tekan mortar beton .....	41
4.1.12 Pengujian densitas mortar .....	42

4.2	Pembahasan.....	42
4.2.1	Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus .....	43
4.2.2	Pengujian kelembaban agregat halus .....	43
4.2.3	Pengujian berat volume halus .....	43
4.2.4	Pengujian analisa saringan .....	43
4.2.5	Pengujian berat jenis semen dan <i>carbon nanotube</i> .....	44
4.2.6	Rancangan campuran ( <i>mix design</i> ) .....	44
4.2.7	Pengujian <i>slump flow</i> .....	44
4.2.8	Pengujian kuat tekan .....	45
4.2.9	Pengujian densitas .....	47
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>49</b>
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSAKA.....</b>		<b>51</b>
<b>LAMPIRAN A PERHITUNGAN .....</b>		<b>54</b>
<b>LAMPIRAN B TABEL DAN GRAFIK .....</b>		<b>61</b>
<b>LAMPIRAN C GAMBAR.....</b>		<b>71</b>
<b>LAMPIRAN D DOKUMEN ADMINISTRASI DAN BIODATA .....</b>		<b>77</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan gradasi pasir.....	7
Tabel 3.1 Data Primer.....	34
Tabel 3.2 Data Sekunder.....	35
Tabel 3.3 Benda Uji.....	36
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat.....	37
Tabel 4.2 Kadar kelembaban agregat.....	38
Tabel 4.3 Berat volume padat agregat.....	38
Tabel 4.4 Pengujian berat volume gembur agregat halus.....	38
Tabel 4.5 Berat jenis semen.....	40
Tabel 4.6 Campuran material untuk pembuatan benda uji.....	40
Tabel 4.7 Pengujian <i>Slump Flow</i> .....	41
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar.....	42
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Densitas Mortar.....	42
Tabel B.1 Analisa Saringan Agregat Halus.....	61
Tabel B.2 Berat Jenis Agregat Halus.....	66
Tabel B.3 Kadar Air Agregat Halus.....	66
Tabel B.4 Perhitungan Berat Jenis Semen.....	66
Tabel B.5 Berat Volume Gembur Agregat Halus.....	67
Tabel B.6 Berat Volume Padat Agregat Halus.....	67
Tabel B.7 Pengujian Slump Flow Test.....	67
Tabel B.8 Pengujian Kuat Tekan.....	68
Tabel B.9 Pengujian Densitas Mortar.....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembentukan SWCNT dari lembaran grapheme .....	10
Gambar 2.2 Beberapa Bentuk Struktur SWNT (a) Struktur Armchair (b) .....	11
Gambar 2.3 Struktur MWNT .....	12
Gambar 3.1 Bagan Air Penelitian.....	24
Gambar 3.2 Semen .....	25
Gambar 3.3 Pasir .....	25
Gambar 3.4 Air.....	26
Gambar 3.5 <i>Superplasticier</i> .....	26
Gambar 3.6 <i>Carbon Nanotube</i> .....	27
Gambar 3.7 Timbangan.....	27
Gambar 3.8 Saringan dan mesin pengentar.....	28
Gambar 3.9 Oven .....	28
Gambar 3.10 Magnetic stirrer hotplate .....	29
Gambar 3.11 Mesin <i>mixer</i> .....	29
Gambar 3.12 Cetakan kubus .....	30
Gambar 3.13 <i>flow mold</i> .....	30
Gambar 3. 14 <i>Compression testing machine</i> .....	31
Gambar4.1 Gradasi Gabungan Agregat Halus.....	39
Gambar 4.2 Pengujian kadar organik .....	39
Gambar 4.3 Persentase Penurunan Slump Flow .....	45
Gambar 4.4 Persentase Kuat Tekan .....	46
Gambar 4.5Perbandingan hasil kuat tekan yang diperoleh pada penelitian ini dengan penelitian terdahulu .....	47
Gambar 4.6 Persentase Densitas Mortar.....	48
Gambar 4.7Perbandingan hasil densitas yang diperoleh pada penelitian ini dengan penelitian terdahulu .....	48
Gambar B.1 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel I .....	61
Gambar B.2 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel II.....	62

Gambar B.3 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel III.....	64
Gambar B.4 Analisa Saringan Agregat Halus.....	65
Gambar B.5 Pengujian Slump Flow test.....	68
Gambar B.6 Pengujian Kuat Tekan .....	69
Gambar B.7 Pengujian Densitas .....	70
Gambar C.1 Analisa Saringan.....	71
Gambar C.2 Pengujian Berat Jenis Semen.....	71
Gambar C.3 Pengujian Kadar organik.....	72
Gambar C.4 Persiapan Bekisting Kubus.....	72
Gambar C.5 Pengecoran Benda Uji .....	73
Gambar C.6 Memasukkan Mortar Dalam Mini Slump Flow Test .....	73
Gambar C.7 Pengukuran Slump Flow Test .....	74
Gambar C.8 Memasukan Benda Uji Ke Dalam Bekisting.....	74
Gambar C.9 Perawatan Benda Uji .....	75
Gambar C.10 Penimbangan Benda Uji Kubus.....	75
Gambar C.11 Pengujian Kuat Tekan Mortar .....	76

## DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

CNT	: <i>Carbon nanotube</i>
CSH	: <i>Calcium Silicate Hydrate</i>
MWCNT	: <i>Multi Walled Carbon Nanotube</i>
SWCNT	: <i>Single Walled Carbon Nanotube</i>
Bj. App	: Berat jenis semu
Bj. OD	: Berat curah kering oven
BJ. SSD	: Berat jenis agregat pada keadaan jenuh kering permukaan
Mn	: Mortar Normal
MNCNT	: Mortar <i>carbon nanotube</i>
CTM	: <i>Compression Testing Machine</i>
f <sub>c</sub>	: Kuat tekan benda uji (MPa)
FAS	: Faktor Air Semen
MHB	: Modulus Halus Butir Agregat
MPa	: Mega Pascal
P	: Gaya tekan aksial maksimum (N)
<i>Slump Flow</i>	: Uji alir material untuk mengetahui kemudahan pengerjaan
SP	: <i>Superplasticizer</i>
<i>Workability</i>	: Tingkat kemudahan pengerjaan beton
A	: Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )
a	: Berat benda uji kering oven di udara (g)

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Penelitian**

Nano teknologi merupakan rekayasa ukuran materi pada skala sepermilyar meter ( $10^{-9}$ m). Penggunaan nano teknologi dapat mempengaruhi perilaku dari suatu material dengan merubah ukuran tanpa merubah kandungan kimianya. Nano material yang digunakan diketahui dapat memberikan efek yang sangat besar dikarenakan luasan area yang lebih besar dibanding material biasa. Penggunaan nanomaterial pada material konstruksi berfungsi sebagai material pengisi (filler) maupun sebagai material pengikat (Fadlillah et al. 2014).

Bahan nano yang paling populer yang digunakan dalam campuran beton adalah *Carbon Nanotubes* (CNT), karena pengaruhnya yang sangat baik terhadap kinerja beton (Anggoro and Saraswati 2021). Dalam Penelitian ini bahan nano dicampurkan ke dalam mortar beton, mortar didefinisikan sebagai satu komponen bahan bangunan yang terdiri dari perekat (semen), agregat halus (pasir), air dan bahan aditif tertentu untuk membuat struktur bangunan (Zuraidah and Hastono 2018).

CNT adalah salah satu jenis dari karbon nanostruktur. CNT adalah salah satu penambahan nanopartikel yang memiliki efek dan perubahan pada komposit semen yang akhirnya mengarah pada peningkatan industri konstruksi. Menambahkan CNT ke dalam komposit semen meningkatkan kekuatan tekan. Komposit CNT semen memiliki peningkatan yang jelas dalam struktur mikro komposit, di mana ukuran CNT yang lebih kecil bertindak sebagai pengisi, oleh karena itu ikatan antara produk hidrasi dan permukaan CNT jauh lebih baik. Dengan demikian, komposit akan mengalami porositas rendah dan kemudian akan menyebabkan keterlambatan inisiasi retakan mikro. Penambahan CNT pada matriks semen merupakan material berkualitas baik. Struktur CNT terdiri dari lembar grafit yang tergulung dan dapat diklasifikasi menjadi CNT berdinding ganda atau berdinding tunggal (MWCNT atau SWCNT) tergantung pada metode

persiapanya (Ahmed et al. 2019). Matriks mortar diperkuat oleh CNT pada skala nanometer dengan meningkatkan kuantitas CSH dan menurunkan porositas mortar (Mustika, Salain, and Sudarsana 2016).

Mortar beton sebagai bahan komposit semen memiliki jaringan partikel pengikat yang kompleks yang dikenal sebagai kalsium silikat hidrat (C-S-H). CSH merupakan senyawa yang membentuk struktur dalam beton yang membuat beton kuat dan tahan lama. Reaksi CSH dapat memperkuat beton dengan meningkatkan kuat tekan beton (Senff et al. 2012). CNT akan berinteraksi paling erat dengan C-S-H karena karakteristik skala nano nya (Adhikary et al. 2021).

Kuat Tekan mortar beton meningkat dengan menambahkan CNT ke dalam campuran mortar beton, karena CNT dapat menutupi pori-pori pada mortar beton, dan CNT juga dapat mengurangi retakan yang terjadi pada mortar beton. Oleh karena itu, diperlukan material seperti CNT yang dapat mengontrol kemampuan struktur beton pada skala nano untuk mengetahui nilai kuat tekan dan densitas pada mortar beton dengan substitusi CNT.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang masalah yang telah diuraikan, dapat dirumuskan masalah di dalam penelitian ini antara lain:

1. Seberapa besar nilai kuat tekan mortar beton yang disubstitusi dengan campuran CNT.
2. Seberapa besar nilai densitas mortar beton yang disubstitusi dengan campuran CNT.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah dapat dirumuskan tujuan dilakukan penelitian ini adalah antara lain:

1. Untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan mortar beton yang disubstitusi dengan campuran CNT.
2. Untuk mengetahui seberapa besar nilai densitas mortar beton yang disubstitusi dengan campuran CNT.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini diharapkan bermanfaat dan memberikan informasi yang jelas bagi pengembangan ilmu teknologi beton dan pengaruh yang terjadi akibat campuran CNT ke dalam mortar beton.
2. Memberikan informasi tentang perbandingan mutu mortar dari variasi sampel mortar dengan campuran CNT.

#### 1.5 Batasan Masalah

Untuk menghindari perluasan pembahasan, maka penulis membatasi ruang lingkup penelitian yang dibahas, antara lain:

1. Kuat tekan mortar beton rencana ( $f'c$ ) pada umur 28 hari sebesar 20 MPa
2. Jenis CNT yang digunakan adalah *Multi Wall Carbon Nanotube*
3. FAS yang digunakan sebesar 0.485
4. Menggunakan *Magnetic stirrer*
5. Bahan pembuatan mortar: semen tipe 1 dengan, *Superplasticize*, agregat halus, air yang digunakan dari Laboratorium Sains dan Teknologi Teknik Sipil, Universitas Malikussaleh.
6. Persentase CNT digunakan sebesar 0.01%, 0.02%, 0.03%, dan 0.04% dari berat semen.

#### 1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental di Laboratorium. Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm untuk kuat tekan dan densitas mortar beton. Adapun pembuatan badan uji sesuai dengan (SNI 03-6825-200). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe 1, pasir yang digunakan didapat dari sungai Juli, CNT yang digunakan adalah CNT yang telah didispersi oleh air dengan konsentrasi 1mg/ml. CNT diperoleh dari toko *online*. *Superplaticizer* yang digunakan sebesar 1,5% dari FAS. Air yang digunakan adalah air bersih yang tidak berbau dan tidak

berwarna. Variasi benda uji yang akan dibuat pada penelitian berjumlah 5 variasi dengan jumlah benda uji yang akan dibuat pada masing-masing variasi berjumlah 3 benda uji. Persentase kandungan CNT yang akan digunakan pada masing-masing variasi adalah 0% mortar control, 0,01%, 0,2%, 0,03%, dan 0,04% menggunakan kandungan CNT. Perawatan benda uji yang dilakukan berupa perendaman selama 28 hari.

### **1.7 Hasil Penelitian**

Dari penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh penggunaan CNT terhadap kuat tekan dan densitas mortar beton, hasil yang didapat adalah Penggunaan CNT pada mortar beton memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai kuat tekan mortar, dimana mortar mengalami peningkatan nilai kuat tekan siring dengan penambahan variasi CNT. Variasi yang mendapatkan nilai kuat tekan paling optimal adalah variasi CNT 0.03% dengan nilai rata-rata kuat tekan didapat sebesar 27,86 MPa, dan persentase kenaikan nilai kuat tekan yang di dapat 31% dari mortar normal.

Penggunaan CNT pada mortar beton memiliki pengaruh terhadap densitas mortar beton. Dimana mortar akan mengalami kenaikan nilai densitas dengan penambahan variasi CNT. Substitusi CNT dengan variasi 0,01%, 0,02%, 0,03% dan 0,04% memiliki nilai densitas sebesar, 2,0832 gr/cm<sup>3</sup>, 2,1192 gr/cm<sup>3</sup>, 2,133gr/cm<sup>3</sup>, dan 2,0619 gr/cm<sup>3</sup>. Variasi yang mendapatkan nilai densitas optimum adalah variasi 0.03% dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,133 gr/m<sup>3</sup>.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKAAN**

#### **2.1 Mortar Beton**

Mortar adalah campuran antara agregat halus (pasir), air dan bahan perekat. Kuat tekan mortar dipengaruhi oleh jumlah semen dalam campuran, FAS dan perbandingan volume semen dan pasir. Mortar yang digunakan harus dicampur dengan jumlah air yang sesuai agar mendapatkan kualitas yang baik untuk mempermudah pekerjaan. Kualitas dan mutu mortar ditentukan oleh bahan dasar, bahan tambahan, proses pembuatan dan alat yang digunakan. Semakin baik mutu bahan bakunya, komposisi perbandingan campuran yang direncanakan dengan baik dan proses pembuatan yang baik akan menghasilkan mortar yang berkualitas baik pula. Bahan penyusun mortar meliputi semen *Portland*, pasir, air, dan bahan tambah, dimana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda (Sihombing, Afrizal, and Gunawan 2019).

Mortar adalah campuran semen Portland, pasir dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002). Pemakaian mortar lebih cenderung untuk pekerjaan non-struktural seperti perekat pasangan bata, plesteran dinding, plesteran pada keramik, batako dan sebagainya (Hasbi 2019). Mortar dibagi menjadi empat jenis, yaitu;

1. Mortar semen Portland, merupakan campuran dari air, semen, dan pasir. Perbandingan volume semen dan pasir berkisar pada 1 : 2 hingga 1 : 6 tergantung penggunaannya. Mortar semen tersebut ditandai lebih kuat dibandingkan mortar lainnya, sehingga paling banyak ditemukan dalam penggunaan dalam proses konstruksi tembok, kolom, pilar dan bagian-bagian lain yang menahan berat karena memiliki daya tahan dan kekuatan yang lebih dibandingkan mortar jenis lainnya.
2. Mortar Kapur, terdiri dari campuran kapur, pasir, semen merah dan air. Pasir dan kapur pertama-tama dicampur dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air yang secukupnya untuk dapat menghasilkan adukan dengan

kelecekan yang baik. Jenis kapur yang digunakan pada umumnya adalah hydraulic line dan fat line.

3. Mortar Polimer, terdiri dari perekat polimer yang dapat bersifat termoplastik maupun thermosetting. Alangkah tetapi, mortar polimer ini berbiaya yang lebih tinggi dibandingkan mortar semen Portland, sehingga hanya digunakan pada pembangunan yang membutuhkan properties yang superior, atau terkompensasi dengan rendah biaya pemakaian atau biaya tenaga kerja. Pada umumnya mortar polimer digunakan untuk memenuhi mutu adukan yang diisyaratkan dalam kegiatan konstruksi.
4. Mortar pozolan, merupakan bahan tambah yang berasal dari limbah industri maupun dari alam yang memiliki kandungan *alumina* dan *silica*. Apabila jenis mortar ini dicampur dengan air akan dapat bereaksi dengan kapur bebas.

## 2.2 Material Pembentuk Mortar Beton

Adapun karakteristik dari material pembentukan mortar beton pada penelitian ini sebagai berikut:

### 2.2.1 Semen

Semen merupakan material yang memiliki sifat *adhesive* dan *cohesive* yang baik sehingga muda untuk melekat pada material yang padat (*solid mass*). Dengan kata lain, sifat *bond* (lekatan) dari semen sangat baik bila diaplikasikan pada material yang padat (*solid mass*). Sifat semen yang mudah mengeras muncul disaat semen dicampurkan dengan cair, sehingga kondisi seperti itu menyebabkan semen biasa juga disebut dengan istilah *hydraulic cement* (Lesmana 2020).

Semen merupakan bahan perekat atau lem, yang dapat merekatkan bahan – bahan material lain seperti batu koral dan batu bata hingga bisa membentuk sebuah bangunan. Sedangkan dalam pengertian secara umum semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan – bahan padat menjadi satu semen Portland, mortar kapur, mortar polimer, serta mortar pozolan (Pratama and Firdaus 2019).

### 2.2.2 Agregat halus

Agregat adalah salah satu komponen penting yang menyusun material mortar beton. Fungsi agregat halus adalah sebagai (filler) untuk menghemat semen Portland, menghasilkan kekuatan yang besar pada beton, dan mengurangi susut pengerasan beton. Pada penelitian ini hanya menggunakan agregat halus, defines agregat halus adalah material yang memiliki ukuran halus yang bisa lolos dari saringan/ayakan yang berdiameter kurang dari 5mm (Lesmana 2020). Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm.

Persyaratan gradasi pasir menurut SNI 03-2834-2000 dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persyaratan gradasi pasir

Ukuran Ayakan		Gradasi Agregat (kumulatif lolos saringan) (%)		
Milimeter	Inch	Kasar	Sedang	Halus
4,75	No 4	3,0	15,9	96,4
2,36	No 8	2,5	4,6	55,7
1,18	No16	2,5	4,3	35
0,6	No 30	2,4	4,1	26,8
0,3	No 50	2,4	3,9	19,7
0,15	No100	2,3	3,5	13,9
0,075	No 200	2,2	3,1	10,6

Sumber : SNI ASTM C136 (2012)

Modulus halus butir (angka kehalusan) adalah jumlah persen tertinggal komulatif pada tiap-tiap ayakan dari suatu seri ayakan yang ukuran lubangnya berbanding dua kali lipat, dimulai dari ayakan yang berukuran lubang 0,15 mm, dibagi 100. Semakin besar nilai MHB suatu agregat bearti semakin besar butiran agregatnya. MHB pasir berkisaran antara 1,50-38, kerikil sebesar 5,0-8,0 dan MHB dari campuran agregat halus dan agregat kasar sebesar 5,0-6,0. Beton mutu tinggi sebaiknya menggunakan agregat halus dengan MHB 2,5 sampai 3,2. Bila

digunakan pasir buatan, adukan beton harus mencapai kelecakan adukan yang sama dengan pasir alam.

### **2.2.3 Air**

Air yang dimaksud di sini adalah air yang digunakan sebagai campuran bahan pembuatan mortar, harus berupa air bersih dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat menurunkan kualitas mortar foam. Air untuk keperluan pembuatan beton maupun mortar foam tidak boleh mengandung bahan-bahan yang dapat menghalangi pengerasan semen Portland atau dapat merusak beton itu sendiri. Misalnya lumpur, tanah liat, zat organik dan bahan-bahan yang terlarut seperti garam sulfat, klorida, asam dan basa (Febrianto 2014).

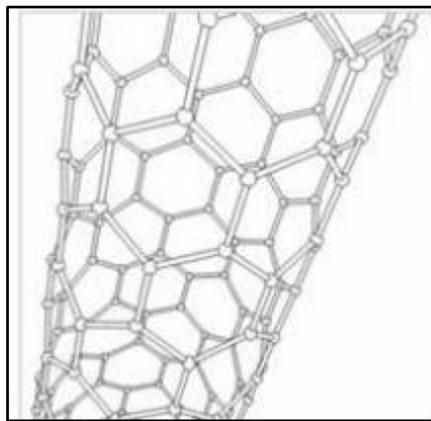
### **2.2.4 Superplasticizer (SP)**

*Superplasticizer* (SP) ini dijadikan sebagai bahan tambah karena dapat menambah karena dapat mempertahankan kadar air tanpa mengurangi *workability* pada campuran mortar dan juga dapat mereduksi jumlah air tanpa mengurangi nilai kelecakan (*flow*). Kelecakan pada campuran mortar mempermudah pasta mengalir bebas mengisi celah-celah antara tulangan dan agregat yang sulit dijangkau serta dapat menghasilkan kerapatan tulangan dan agregat yang sulit dijangkau serta dapat menghasilkan kerapatan tulangan dan agregat yang tinggi sehingga tidak terjadi segregasi (pemisahan agregat) pada mortar dan mutu yang dihasilkan akan meningkat (Riset et al. 2022).

### **2.2.5 Carbon Nanotube (CNT)**

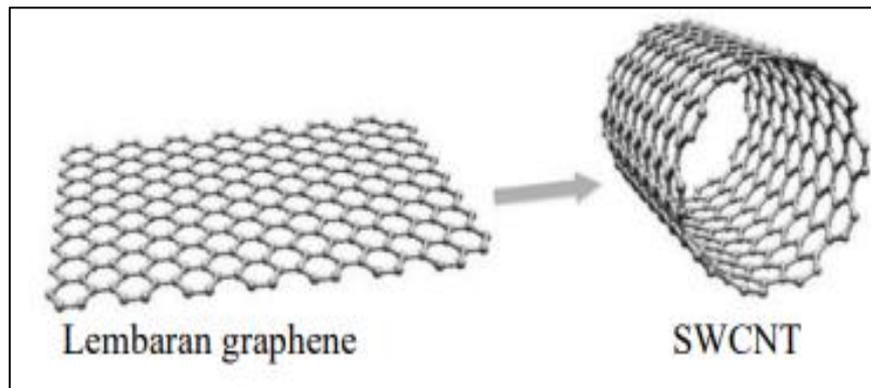
CNT adalah serat karbon ultra tipis yang diameternya berukuran nanometer dan panjang berukuran micrometer. CNT pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan Jepang, Sumio Iijima, pada Katoda karbon yang digunakan untuk proses pelepasan busur mempersiapkan gugus karbon kecil yang diberi nama fullerene. CNT memiliki sifat yang unik dan berbagai aplikasi sehingga menjadi salah satu bahan yang paling aktif dieksplorasi dalam beberapa tahun terakhir. Produksi CNT dalam skala besar secara ekonomis sangat penting untuk

mewujudkan aplikasi ini. CNT menarik banyak penelitian dan menjadi salah satu nanomaterial paling terkenal karena memiliki sifat yang sangat baik serta aplikasi potensial. Pengembangan lebih lanjut dari studi ini membutuhkan pengendalian fitur yang lebih tepat untuk pertumbuhan CNT, seperti panjang diameter dan posisi kiralnya. Struktur CNT terdiri dari lembar grafit yang tergulung dan dapat diklasifikasikan menjadi CNT ber dinding tunggal (MWCNT atau SWCNT) tergantung pada metode persiapannya.



Gambar 2.1 Struktur *Carbon Nanotube* (Harris 2004)

CNT dapat dibuat dalam dua bentuk dasar yaitu SWCNT (Gambar 2.2) dan MWCNT secara struktural, SWCNT dapat dibandingkan dengan lembaran grafit setebal satu atom yang digulung yang disebut grapheme. SWCNT terdiri dari satu tabung grapheme sedangkan MWCNT terdiri dari beberapa tabung konsentris grapheme dipasang dipasang satu di dalam yang lain. SWCNT memiliki diameter berukuran beberapa nanometer, sedangkan pada MWCNT memiliki diameter berukuran puluhan nanometer.



Gambar 2.2 Pembentukan SWCNT dari lembaran graphene  
(Anggoro and Saraswati 2021)

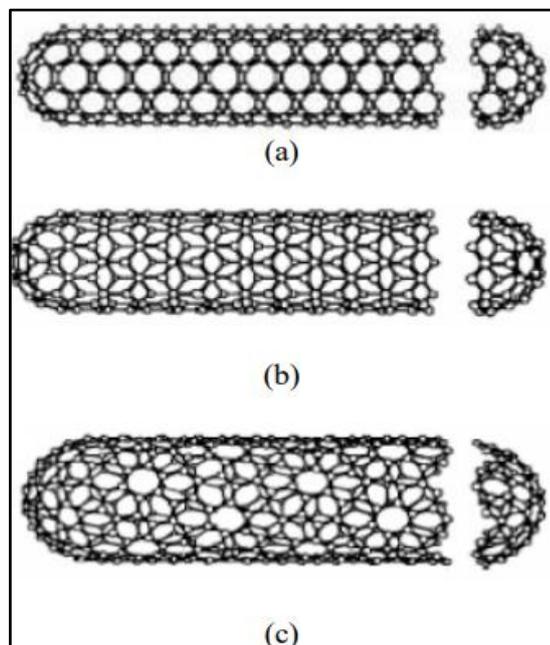
Sintesis CNT dapat menggunakan metode pelepasan busur, ablasi laser dan deposisi uap kimia (CVD). CVD telah dilaporkan menjadi metode produksi skala besar CNT yang sangat disukai untuk memenuhi permintaan yang meningkat untuk beberapa perkembangan teknologi. CVD adalah metode yang paling menjanjikan untuk produksi CNT skala besar. CVD membutuhkan suhu reaksi yang lebih rendah dan biaya yang lebih rendah. Saat ini, masalah kritis untuk aplikasi komersial CNT adalah produksi berskala besar. Harga CNT yang tinggi namun baru-baru ini turun, tetapi masih berlebihan untuk industrialisasi yang realistis.

Produksi bahan nano dapat ditekan biayanya dari sumber daya terbarukan. Bahan baku hayati yang tersedia di dalam jumlah tinggi seperti biopolymer atau senyawa kimia turunan hayati seperti minyak esensial memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan prekursor sintesis. Mereka memiliki kandungan karbon yang tinggi sehingga cocok sebagai bahan penyusun untuk sintesis nanokarbon. Selain itu, harganya yang murah dan keberadaannya yang melimpah karena terus diisi ulang oleh alam. Kamper, hidrokarbon tumbuhan ( $C_{10}H_{16}O$ ) dapat digunakan untuk mensintesis CNT dengan hasil yang menjanjikan (Anggoro and Saraswati 2021).

CNT tersedia dalam dua bentuk adalah *Single Walled Carbon Nanotube* (SWCNT) dan satu adalah *Multi-Walled Carbon Nanotube* (MWCNT).

### A. *Single Walled Carbon Nanotube* (SWCNT)

Struktur ini memiliki diameter kurang lebih 1 nanometer dan memiliki panjang hingga ribuan kali dari diameternya. Struktur SWNT dapat dideskripsikan menyerupai sebuah lembaran panjang struktur grafit (disebut *graphene*) yang tergulung. Umumnya SWNT terdiri dari dua bagian dengan properti fisik dan kimia yang berbeda. Bagian pertama adalah bagian sisi dan bagian kedua adalah bagian kepala. SWNT memiliki beberapa bentuk struktur berbeda yang dapat dilihat bilamana struktur tube dibuka.

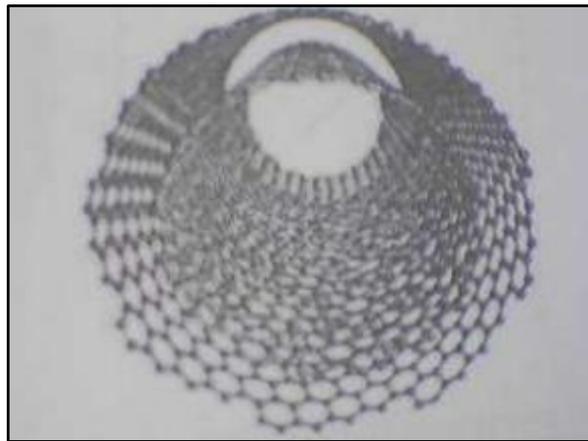


Gambar 2. 3 Beberapa Bentuk Struktur SWNT (a) Struktur *Armchair* (b) Struktur *Zigzag* (c) Struktur *Chiral* (Harris 2004)

SWNT memiliki sifat keelektrikan yang tidak dimiliki oleh struktur MWNT. Hal ini memungkinkan pengembangan struktur SWNT menjadi nanowire karena SWNT dapat menjadi konduktor yang baik. Selain itu SWNT telah dikembangkan sebagai pengganti dari *field effect transistors* (FET) dalam skala nano. Hal ini karena sifat SWNT yang dapat bersifat sebagai nFET juga p-FET ketika bereaksi terhadap oksigen. Karena dapat memiliki sifat sebagai n-FET dan p-FET maka SWNT dapat difungsikan sebagai *logic gate*

### B. *Multi-Walled Carbon Nanotube* (MWCNT)

MWNT dibentuk dari beberapa lapisan struktur grafit yang digulung membentuk silinder. Atau dapat juga dikatakan MWNT tersusun oleh beberapa SWNT dengan berbeda diameter. MWNT jelas memiliki sifat yang berbeda dengan SWNT.



**Gambar 2. 4** Struktur MWNT (Harris 2004)

Pada MWNT yang hanya memiliki 2 lapis dinding Double-Walled Carbon Nanotubes (DWNT) memiliki sifat yang penting karena memiliki sifat yang menyerupai SWNT dengan chemical resistance yang lebih baik. Hal ini dikarenakan pada SWNT hanya memiliki 1 lapis dinding sehingga bilamana terdapat ikatan C=C yang rusak maka akan menghasilkan lubang di SWNT dan hal ini akan mengubah sifat mekanik dan elektrik dari ikatan SWNT tersebut. Sedangkan pada DWNT masih terdapat 1 lapisan lagi di dalam yang akan mempertahankan sifatnya.

CNT biasanya disintesis dari bahan hidrokarbon sebagai precursor karbon. Bahan-bahan yang sering digunakan dalam sintesis CNT, seperti alkohol, *methanol*, metana, (CH<sub>4</sub>), etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), asitelen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), *propane* (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), atau sikloheksana (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>). Dalam pertumbuhan CNT, precursor karbon bersama campuran gas sisa yang akan divakum dan hasil padatan CNT. Parameter yang mempengaruhi keberhasilan pertumbuhan CNT adalah katalis, temperatur sistem, campuran gas *precursor* dan gas pembawa serta tekanan gas. Sayangnya,

kebanyakan sumber prekursor karbon dalam sintesis CNT berasal dari bahan bakar fosil yang memiliki kelemahan tidak bisa diperbaharu dan menghabiskan biaya yang mahal (Saputri and Saraswati 2021).

CNTs adalah salah satu jenis dari karbon nanostruktur. Karbon nanostruktur telah menarik perhatian dunia (Iijima, 1991; Kumar dkk., 2016). Bentuk strukturnya berukuran nano dan terdiri dari atom-atom karbon. Karbon mempunyai bentuk alotrop dari 0-D sampai 3-D, sehingga berdasarkan strukturnya karbon nanostruktur terdiri dari karbon nanostruktur 0-D yaitu fullerenes, karbon nanostruktur 1-D yaitu carbon nanotubes (CNTs), karbon nanostruktur 2-D yaitu graphenedan karbon nanostruktur 3-D yaitu grafit.

Material yang berasal dari susunan atom carbon yang berhibridisasi  $sp^2$  dan berikatan satu sama lain secara heksagonal membentuk struktur sarang madu (honeycomb). Diameter dari CNTs berkisar antara 0,4-2,5 nanometer dengan panjangnya dapat lebih dari 10 milimeter. Dengan dimensi yang kecil carbon nanotube sehingga sangat fleksibel, membuat carbon nanotube mempunyai banyak potensi untuk diaplikasikan di berbagai bidang. Terdapat dua jenis CNTs jika dibedakan berdasarkan jumlah dindingnya, yaitu CNTs berdinding tunggal (single wall carbon nanotubes) dan CNTs berdinding banyak (multi wall carbon nanotubes) (Risdianto et al. 2022).

CNT dan serat karbon (CNF) telah menunjukkan peningkatan yang sangat baik dalam hal kekuatan pada komposit berbasis semen. CNT akan memiliki modulus young yang sangat baik, perilaku elastis dan kekuatan tarik yang tinggi dan sifat termal yang luar biasa. Belum ada bukti bahwa CNT tersedia secara komersil terutama untuk bahan konstruksi, beberapa penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan yang signifikan pada kekerasan, kekuatan tekan dan modulus young. Penambahan CNT akan meningkatkan kekuatan tekan sebesar 50% hampir 600% peningkatan kekerasan pada usia awal hidrasi dan lebih besardari 200% peningkatan modulus young. CNT digunakan sebagai penguat nano pada material berbasis semen. CNTs/CNFs akan memberikan kekuatan yang lebih besar dalam hal modulus elastisitas (TPA) dan kekuatan tarik (IPK) serta memiliki sifat kimia dan elektronik yang khas. CNTs/CNFs bahan nano dapat memperkuat sifat

mekanik dari bahan berbasis semen. CNFs, SWCNTs, dan MWCNTs adalah cincin graphene yang sangat terstruktur berdasarkan rasio aspek yang tinggi (1000 atau lebih) dan memiliki luas permukaan yang tinggi. CNT/ CNF dipelajari secara luas dalam komposit polimer. Saat ini, tabung nano karbon dan serat karbon adalah bahan penelitian yang paling banyak digunakan. bidang penelitian ini memberikan hasil yang mengejutkan, para penelitian yang paling banyak digunakan. bidang penelitian ini memberikan hasil yang mengejutkan, para penelitian berfokus pada penambahan CNT pada pasta semen daripada CNF. Hanya sejumlah kecil investigasi yang membahas tentang penggabungan CNT ke dalam mortar. Tantangan utama dalam nanotube / serat nano adalah disperse yang tepat yang akan terjadi dalam pasta semen, sebagai karena karena hidrofositasnya dan sebagai lagi karena daya tarik yang kuat yang menggabungkan CNT/CNF ke dalam komposit semen. Sifat mekanik menunjukkan hasil campuran ikatan interaksi yang baik antara CNT/CNF yang telah diamati (Vijayabhaskar and Shanmugasundaram 2017).

Prekursor dalam sintesis CNT dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu cair dan padat. Pada ulasan ini akan dibahas prekursor dari bahan alam berkelanjutan yang berbentuk padat cair. Kumar dan Ando [9] melakukan penelitian sintesis CNT menggunakan prekursor kamper. Metode CVD digunakan dalam sintesis ini. Jumlah kamper yang sesuai dan ferosen dimasukkan ke dalam tungku. Pada sintesis ini digunakan gas argon. Hasil CNT dari prekursor kamper menunjukkan sifat mekanik sederhana dan hidrofobisitas tinggi. Selain itu juga dihasilkan CNT berdiameter 25-50 nm kemurnian tinggi dari dekomposisi katalitik kamper Kristalinitas nanotube ini cukup baik dengan pembentukan karbon amorf sangat rendah, dan keberadaan partikel katalis dalam CNT yang tumbuh hampir dapat diabaikan. Oleh karena itu, tidak diperlukan pemurnian setelah deposisi. Minyak kamper tidak beracun sehingga dapat direproduksi prekursor. Dekomposisi prekursor hidrokarbon sangat tergantung pada kondisi lingkungan. Sintesis CNT juga dapat menggunakan prekursor minyak kayu putih. Sintesis CNT menggunakan minyak kayu putih sebagai sumber karbon diperoleh hasil yang sangat baik dengan Y-zeolit sebagai substrat katalis. CNT memiliki kemurnian

tinggi dan memiliki distribusi diameter dari 0,79 hingga 1,71 nm seperti yang diperiksa dengan spektroskopi Raman. Karena minyak kayu putih terdiri dari banyak senyawa kimia bisiklik menyerupai kamper, maka memiliki tingkat kontaminasi yang rendah. Teknik sintesis ini tidak memerlukan perlakuan awal apapun dari prekursor katalis untuk menghasilkan prekursor katalis aktif oleh penggunaan gas H<sub>2</sub>.

## 2.3 Sifat Fisis Agregat

Pemeriksaan sifat-sifat agregat meliputi pemeriksaan berat jenis (*specific gravity*), penyerapan (*absorbtion*), berat volume (*bulk density*), dan susunan butiran (*sieve analysis*).

### 2.3.1 Berat jenis agregat (*Spsific Grafity*)

Berat jenis adalah perbandingan berat dari suatu volume bahan pada suatu temperature terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur tersebut. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan beton kerana umumnya direncanakan bedasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori. Berat jenis agregat kering oven (BJ<sub>OD</sub>) dapat dihitung berdasarkan Rumus 2.1, sedangkan berat jenis jenuh kering-permukaan (BJ<sub>SSD</sub>) dapat dihitung dengan persamaan Rumus 2.2. Untuk berat jenis semu (apparent specific gravity) dan penyerapan air (absorption) dapat dihitung berdasarkan Persamaan 2.3 dan 2.4 (Toruan et al. 2013).

$$BJ_{(OD)} = \frac{W_1}{(W_2 - W_3)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$BJ_{(SSD)} = \frac{W_2}{(W_2 - W_3)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$BJ_{(APP)} = \frac{W_1}{(W_1 - W_3)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$W_a = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots (2.4)$$

Di mana :

W<sub>1</sub> = berat benda uji kering oven (gr)

$W_2$  = berat benda uji jenuh kering-permukaan (gr)

$W_3$  = berat benda uji jenuh kering-permukaan di dalam air (gr)

$\gamma_d$  = berat volume air pada suhu  $(23 \pm 2)^\circ\text{C} = (997 \pm 2) \text{ kg/m}^3$

Sedangkan untuk berat jenis agregat halus kering oven ( $BJ_{OD}$ ) dapat dihitung berdasarkan Persamaan 2.5, dan berat jenis kering-permukaan ( $BJ_{SSD}$ ) dapat dihitung dengan Persamaan 2.6. Untuk berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dan penyerapan (absorption) dihitung berdasarkan Persamaan 2.7 dan 2.8

$$BJ_{(OD)} = \frac{W_1}{(W_2 + W_4 - W_3)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$BJ_{(SSD)} = \frac{W_4}{(W_2 + W_4 - W_3)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$BJ_{(App)} = \frac{W_1}{(W_2 + W_1 - W_3)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$W_a = \frac{(W_4 - W_1)}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Di mana :

$W_1$  =berat benda uji kering oven (gr)

$W_2$  =berat benda uji jenuh kering-permukaan (gr)

$W_3$  =berat benda uji jenuh kering-permukaan di dalam air (gr)

$\gamma_d$  =berat volume air pada suhu  $(23 \pm 2)^\circ\text{C} = (997 \pm 2) \text{ kg/m}^3$

### 2.3.2 Analisa saringan agregat (*sieve analysis*)

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir (SNI 2847-2019)

### 2.3.3 Berat volume agregat (*bulk density*)

Berat volume adalah perbandingan antara berat agregat kering dengan volumenya. Berat volumenya ditinjau dalam dua keadaan, yaitu berat volume gembur dan berat volume padat. Berat volume agregat yang baik untuk material

mempunyai nilai yang lebih besar dari 1445 kg/m<sup>3</sup>. Berat volume agregat dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Berat volume} = \frac{(W5-W2)}{W4} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

W2 = berat silinder (gr)

W4 = berat air = volume air = volume silinder (cm<sup>3</sup>);

W5 = berat silinder + benda uji (gr)

#### **2.4 Workabilitas dan Jumlah Air**

Sifat kekentalan/konsistensi adukan beton dapat menggambarkan kemudahan pengerjaan beton, yang dinyatakan nilai *slump*. Suatu nilai *slump* tertentu yang diharapkan dapat memberi kemudahan pengerjaan sesuai dengan jenis konstruksi yang dikerjakan, untuk suatu ukuran agregat tertentu akan berpengaruh terhadap jumlah air yang dibuthkan. Untuk mencegah penggunaan adukan beton yang terlalu kental atau terlalu encer, dianjurkan untuk menggunakan nilai *slump* dalam batas-batas (PUPR 2017).

#### **2.5 Faktor Air Semen (FAS)**

Nilai perbandingan air terhadap semen atau yang disebut faktor air-semen (FAS) mempunyai pengaruh yang kuat secara langsung terhadap kekuatan beton. Harus dipahami secara umum bahwa semakin tinggi nilai FAS semakin rendah mutu kekuatan beton (PUPR 2017).

#### **2.6 Pengujian *Flow Table***

Pengukuran workabilitas pada mortar beton dilakukan dengan pemeriksaan meja getar atau *flow table* sesuai dengan ASTM C124-39. Hasil test ini menunjukkan konsistensi mortar dengan mengukur tingkat penyebaran campuran ketika menerima sentakan pada *flow table* selama 15 kali dalam 15 detik (Febrianto 2014). Nilai fluiditas didefinisikan sebagai peningkatan diameter

penyebaran mortar segar ( $D$  dalam cm) dikurangi diameter sebelumnya (10 cm), secara matematis rumus fluiditas adalah sebagai berikut:

$$Flow = (D - 10) \times \frac{100}{10} \dots\dots\dots (2.10)$$

## 2.7 Kuat Tekan

Nilai kuat tekan didapatkan dengan cara pengujian standard menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder atau kubus sampai hancur (Febrianto 2014). Berdasarkan SNI 1974:201, kuat tekan beton dapat dihitung dengan cara membagi kuat tekan maksimum yang diterima benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang.

Uji kuat tekan beton adalah maksimal beton dalam menerima beban. Sehingga nantinya akan diketahui mutu yang dihasilkan dari setiap sampel beton. Pembebanan pada sampel yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menerima tekanan (Nasution 2022).

Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu sebuah struktur dimana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Lesmana 2020).

$$f'_c = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots (2.11)$$

Di mana:

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

$P_{maks}$  = beban maksimum (N)

$A$  = Luas penampang benda uji silinder ( $mm^2$ )

## 2.8 Densitas

Densitas atau kerapatan adalah turunan besaran menyangkut satuan massa dan volume. Batasannya adalah massa persatuan volume pada temperature dan tekanan tertentu (Andiska 2011).

Densitas merupakan massa per satuan volume (SNI 1973:2016 2016). Data yang diperoleh dari pengukuran dan penimbangan, yaitu data massa kubus dan volume kubus digunakan dalam perhitungan densitas (Kusumaningrum et al. 2023).

$$p_s = \frac{mk}{V_k} \dots\dots\dots(2.12)$$

Di mana :

- $p_s$  = densitas beton (kg/m<sup>3</sup>)
- Mk = massa kubus(kg)
- Vk = Volume Kubus (kg)

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah acuan atau referensi yang sangat penting pada penelitian ini karena digunakan sebagai pendoman dalam melakukan penelitian. Adapun beberapa penelitian terdahulu yang menjadi acuan atau referensi pada penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 3.4.

No	Judul Penelitian	Metode	Hasil	Pengembangan Penelitian
1	Abu Sekam Padi dan Carbon Nanotube sebagai Material Alternatif Penyusun Beton Ringan Seluler (Yogie Risdianto, Nur Andajani, Andang Widjaya, Krisna Dwi Handayani, Meity Wulandari,2022)	Kuantitatif menggunakan metode eksperimen di laboratorium.	Penggunaan bahan tambah abu sekam padi dan carbon nanotube menyebabkan bertambahnya keuletan panel dan permukaan menjadi lebih halus. Penggunaan carbon nanotube sendiri menyebabkan lebih meningkatkan kuat tekan.	menghasilkan sifat fisik berupa warna yaitu abu-abu menjadi lebih gelap
2	Synthesis of Carbon Nanotubes (CNT) Using Natural Material Precursors and Modified CNTs as CNT/Epoxy Resin Composite: Review (Putri Ayu Anggoro dan Teguh Endah Saraswati,2020)	Sintesis Carbon Nanotube (CNT) menggunakan metode CVD	Pemodifikasi permukaan CNT dapat dilakukan dengan fungsionalisasi menggunakan asam atau amino untuk meningkatkan interaksi antar muka antara CNT.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil permeabilitas beton, maka akan semakin sedikit air yang dapat masuk kedalam konstruksi beton.

3	Kuat Tekan Mortar Dengan Berbagai Campuran Penyusun Dan Umur(Rudi Yuniarto Ardi,2008)	Metode pengujian laboratarium	Dari hasil penelitian ini disimpulkan bahwa kuat tekan mortar akan meningkat tajam sejak umur 0 sampai 12hari,	-
4	PENGARUH KOMPOSISI NANO SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR(Dion Aji Fadlillah, Frisky Sustiawan, Han Ay Lie , Purwanto,2014)	Metode pengujian laboratarium	Dari hasil yang disajikan terbukti bahwa dengan penggunaan nanosemen dapat meningkatkan kuat tekan dari mortar. Kuat tekan meningkat dikarenakan ukuran butiran semen yang digunakan lebih kecil.	Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh lama penggilingan terhadap ukuran bulir semen yang dihasilkan. Pengamatan panas hidrasi akibat dari penggunaan nano semen perlu diteliti untuk mengantisipasi efek samping dari penggunaan nano semen. Pengaruh penambahan nano semen terhadap lekatan agregat dengan mortar perlu diteliti lebih lanjut

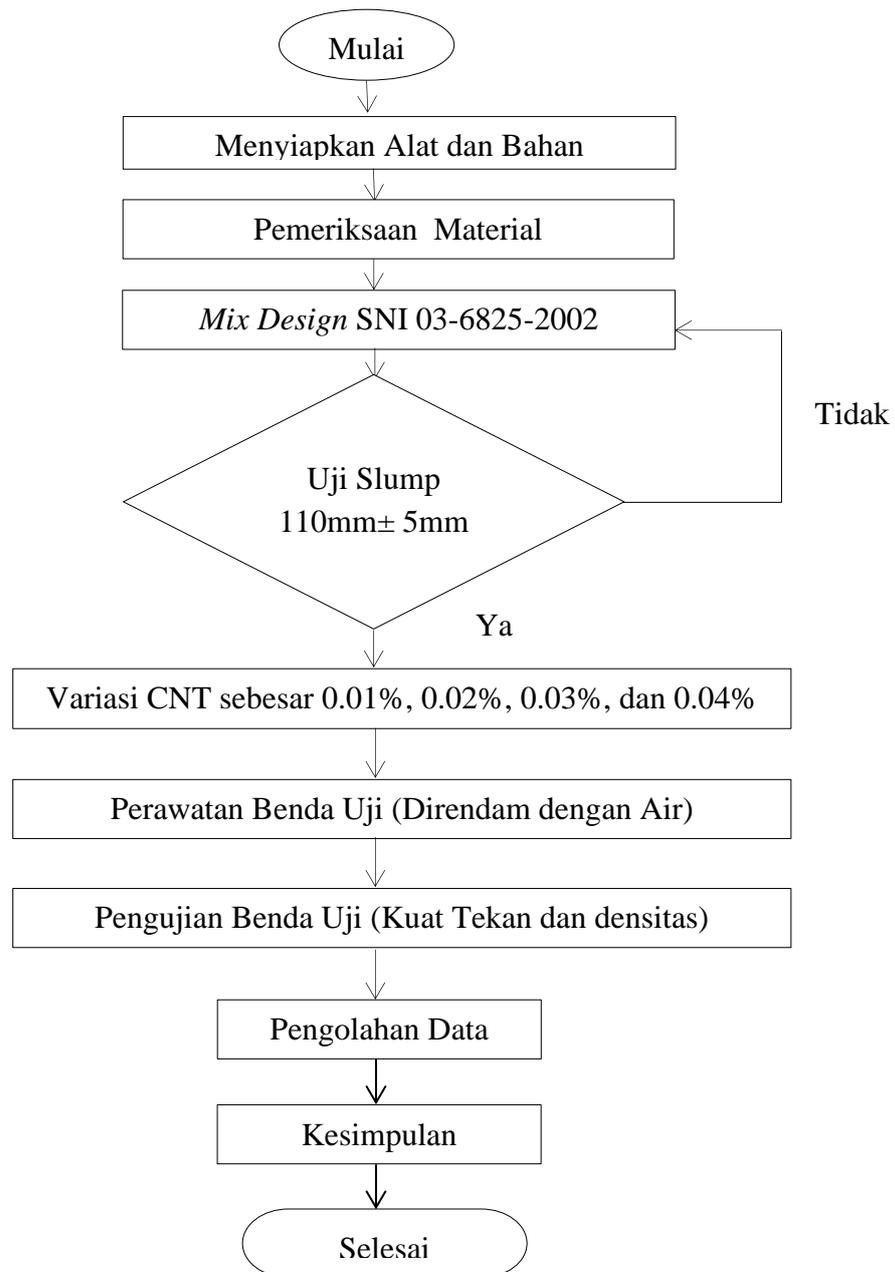
5	Influence of Carbon Nanotubes (CNTs) in the Cement Composites(Ba Rahma Ahmed, Al-Jaberi Hussein, Dahi Saleh and Raizal S. M. Rashid,2019)	Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa CNT mempunyai sifat khas yang memberikan efek positif bila ditambahkan ke dalam senyawa semen.	Berdasarkan penelitian yang ditinjau, dapat disimpulkan bahwa penambahan CNT membantu meningkatkan komposit semen dalam hal daya tahan dan sifat mekanik termasuk kekuatan tekan dan lentur serta struktur mikro
6	Investigasi Eksperimental Pengaruh Nano carbonTube terhadap Kekuatan Beton	Eksperimen pada penelitian ini,.	Hal ini dapat dikaitkan dengan dispersi CNT dalam beton dan melindungi beton dari retakan progresif. tinggi menghasilkan	Tinjauan terhadap penelitian menunjukkan bahwa penggunaan CNT saat ini masih dalam bidang Penelitian ini masih dalam tahap awal, namun dengan melakukan lebih banyak penelitian di bidang ini, beton yang lebih efisien dapat dihasilkan.
7	Sintesis Carbon Nanotubes (CNT) Berbasis Bahan Alam Limbah	Metode pengujian laboratarium	Carbon nanotubes (CNT) sebagai teknologi nanomaterial unggul membawa sifat mekanik baik seperti konduktivitas	Polimida mempunyai sifat menarik berupa sifat mekaniknya yang sangat baik, stabilitas termal, dan ketahanan

	Tempurung Kelapa dan Aplikasinya dalam Pembuatan Polimer Komposit Polimida-CNT: Review		termal tinggi, modulus tinggi, kekuatan yang baik, dan fleksibilitas tinggi. substrat yang terpola.	kimia. Ketika digabungkan dengan CNT, akan membentuk komposit luar biasa dengan performa kinerja tinggi.
8	Aplikasi penggunaan material nano pada beton: Review	Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif	Dari tinjauan literatur yang ada, jelas bahwa penggunaan material nano pada beton bermanfaat dalam meningkatkan beberapa sifat teknis material berbasis semen.	Penambahan material nano pada beton memiliki efek yang mirip dengan efek material berbasis mikro seperti metakolin dan silica, asap.

**BAB III**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1 Tahap Pelaksanaan Penelitian**

Tahap-tahap dalam pelaksanaan penelitian dapat disusun berdasarkan bagan alir di bawah ini:



Gambar 3. 1 Bagan Air Penelitian

### 3.2 Bahan-Bahan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian ini, terlebih dahulu dilakukan menyiapkan material-material penelitian yang akan digunakan, adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Semen Portland

Semen Portland yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe 1 dalam bentuk kemasan 40kg. Merk semen yang digunakan berasal dari PT. Semen Padang. Dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Semen

#### 2. Pasir

Pasir yang digunakan berasal dari tempat penambangan pasir di daerah sungai Krueng Mane, Aceh Utara. Pasir yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pasir

### 3. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal air mineral/air kemasan, kerana memiliki kadar air yang baik, air pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Air

### 4. *Superplasticier*

*Superplasticier* adalah bahan tambah dalam campuran mortar beton untuk mereduksi penggunaan air agar mempermudah pengadukan disaat pengecoran berlangsung. *Superplasticier* yang digunakan dalam penelitian ini adalah merk SIKA VISCORETE 8045 dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Superplasticier*

### 5. *Carbon nanotube*

CNT adalah salah satu struktur karbon berbentuk tabung dan berukuran nano. Carbon nanotube yang digunakan disperse MWCNT dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 *Carbon Nanotube*

### 3.2.1 Peralatan penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Timbangan digital

Timbangan digital yang nantinya akan digunakan adalah timbangan digital dengan ketelitian 0,1% sebagai alat untuk mengukur berat dari bahan material yang akan digunakan. Adapun timbangan digital seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Timbangan

## 2. Saringan dan mesin pengantar

Saringan yang digunakan untuk penelitian ini adalah saringan dengan ukuran 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, 0,75 mm, dan dibutuhkan kuas sebagai pembersih untuk membersihkan saringan. Saringan agregat halus dan mesin penggetar yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Saringan dan mesin pengantar

## 3. Oven

Oven yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai alat mengeringkan kadar air yang terkandung didalam agregat yang akan digunakan. Adapun oven dapat dilihat pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Oven

#### 4. *Magnetic stirrer*

*Magnetic stirrer hotplate* adalah alat yang digunakan untuk memanaskan dan mengaduk air, disperse CNT dan sp hingga homogeny menggunakan perputaran medan magnetic. Adapun *Magnetic stirrer hotplate* dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 *Magnetic stirrer hotplate*

#### 5. Mesin *mixer*

Mesin *mixer* yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai alat pencampuran serta pengaduk semua bahan material penyusun mortar beton seperti pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Mesin *mixer*

6. Cetakan kubus 5cm x 5cm x 5cm

Cetakan kubus yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai bekisting penempatan mortar setelah selesai diaduk sehingga dapat dilakukan pengujian kuat tekan. Dapat dilihat sebagai pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Cetakan kubus

7. Mini *slump flow*

Mini *slump flow* digunakan sebagai pengujian *workability* dan kelayakan pada beton. Pada pengujian slump mortar memerlukan alat yaitu *flow mold*. Dapat lihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 *flow mold*

#### 8. Mesin pengujian kuat tekan

Mesin pengujian kuat tekan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai alat untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan pada mortar beton yang telah direncanakan. Alat pengujian kuat tekan yaitu *Compression testing machine* dapat dilihat pada Gambar 3.14



Gambar 3.14 *Compression testing machine*

#### 3.2.2 Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji mortar beton dengan campuran *carbon nanotube* adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan benda uji dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-6825-2002. Digunakan proposi bahan 1: 2,75 untuk semen dan pasir, sedangkan untuk rasio air semen atau FAS sebesar 0,487%. Kemudian menggunakan SP 1.5% dari berat semen. Untuk CNT menggunakan variasi 0,01%, 0,02%, 0,03%, 0,04% dari berat semen. Jumlah bahan yang harus dicampurkan untuk pembuatan enam buah benda uji sebagai berikut :
  1. Semen : 500 gr
  2. Pasir : 1375 gr
  3. Air : 242 ml
2. Semua bahan untuk adukan mortar seperti semen, pasir, air, *Carbon nanotube*, dan sp diletakkan dalam tempat yang terpisah.

3. Masukkan air dan carbon nanotube kedalam satu wadah sesuai dengan mix design, kemudian letakkan wadah tersebut diatas magnetik stirrer agar tercampur atau homogen. Pengadukan dilakukan selama  $\pm 30$  menit. Setelah homogen campur dengan sp.
4. Tuangkan pasir terlebih dahulu ke dalam mesin pengaduk, kemudia masukan semen perlahan-lahan, biarkan keduanya teraduk merata.
5. Masukan larutan air, *carbon nanotube* dan sp yang sudah tercampur sedikit demi sedikit ke dalam mesin pengaduk yang berisi campuran pasir dan semen.
6. Pengujian *slump flow* dengan cara basahi cetakan dan letakan di atas permukaan datar, lembab, tidak menyerap air dan kaku. Cetakan harus ditahan secara kokoh di tempat selama pengisian. Padatkan setiap lapisan dengan tusukan 25 tusukan menggunakan batang pemadat. Sebarkan penusukan secara merata di atas permukaan setiap lapisan. Untuk lapisan bawah akan membutuhkan penusuk secara miring dan membuat sekira setengah dari jumlah tusukan dekat ke batas pinggir cetakan, dan kemudian lanjutkan penusukan secara vertikal. Padatkan lapisan bawah seluruhnya hingga kedalamnya. Hindari batang penusuk mengenai pelat dasar cetakan. Padatkan lapisan kedua dan lapisan atas seluruhnya hingga kedalamanya, sehingga penusukan menembusa batas lapisan dibawahnya. Dalam pengisian dan pemadatan lapisan atas, lebihkan adukan beton di atas cetakan sebelum pemadatan dimulai. Bila pemadatan menghasilkan beton turun dibawah ujung atas cetakan, tambahkan adukan beton untuk tetap menjaga adanya kelebihan beton pada bagian atas dari cetakan. Setelah lapisan atas selesai dipadatkan, ratakan permukaan beton pada bagian atas cetakan secara dengan cara menggelindinkan batang penusuk di atasnya. Lepaskan segera cetakan dari beton dengan cara mengangkat dalam arah vertikal secara hati-hari. Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu  $5 \pm 2$  detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Selesaikan seluruh pekerjaan pengujian dari awal pengisian hingga pelepasan cetakan tanpa gangguan, dalam waktu tidak lebih dari  $2 \frac{1}{2}$  menit. Setelah beton menunjukkan penurunan pada permukaan, ukur segera *slump flow* dengan menentukan perbedaan vertikal antara bagian atas cetakan dan bagian pusat permukaan atas beton.

7. Adukan mortar dimasukkan kedalam cetakan yang sudah disiapkan menggunakan sendok semen. Adukan yang telah dituang ke dalam cetakan diratakan agar bagian atas adukan mortar rata.
8. Cetakan mortar dibuka setelah 24 jam, pembongkaran cetakan dilakukan dengan hati-hati dikarenakan benda uji sering melekat pada cetakan.
9. Kubus mortar diberi tanda variasi campuran, nomor benda uji dan perbandingan adukan bahan. Tanda tersebut dibuat menggunakan spidol pada salah satu bagian untuk membedakan kubus mortar yang telah dicetak, sehingga tidak keliru.

### **3.3 Perawatan Benda uji**

Perawatan benda uji sesuai dengan SNI 03-6825-2002 dilakukan dengan perendaman dalam bak yang berisi air setelah mortar dikeluarkan 24 jam dari cetakan dan benda uji direndam selama 27 hari. Umur 28 hari benda uji dikeluarkan dari dalam air, kemudian permukaannya dilap dan dibiarkan selama 15 menit dan selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan mortar dan densitas mortar.

### **3.4 Pengujian Benda uji**

Pengujian kuat tekan mortar sesuai dengan SNI 03-6825-2002 dilakukan saat berumur 28 hari. Pengukuran dimensi dan penimbangan berat benda uji dilakukan terlebih dahulu. Semua data yang bersangkutan dengan benda uji dicatat pada lembar yang telah disediakan. Alat yang digunakan pada pengujian kuat tekan mortar adalah *Compression testing machine*.

Pengujian ini dilakukan untuk menghitung kepadatan mortar beton. Dengan cara menimbang beton setelah dibuka dari cetakan kubus 5 x 5 x 5 cm, kemudian diukur benda uji menggunakan mistar 30 cm.

### **3.5 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian ini yaitu :

### 3.5.1 Data primer

Data primer ini adalah data yang diperoleh dari hasil pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan di laboratorium. Data-data primer tersebut diuraikan seperti Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Primer

No	Data	Cara Peroleh Data	Kegunaan
1	Pemeriksaan berat jenis semen	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
2	Pemeriksaan kadar air agregat halus	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
3	Pemeriksaan kadar organik agregat halus	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
4	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
5	Pemeriksaan berat isi/volume agregat halus	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
6	Pemeriksaan analisis saringan agregat halus	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
7	Kuat tekan	Pemeriksaan laboratorium	Memperoleh nilai kuat tekan
8	Densitas	Pemeriksaan laboratorium	Memperoleh nilai densitas

### 3.5.2 Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh berdasarkan buku dan jurnal-jurnal yang berhubungan dengan mortar. Referensi pembuatan mortar beton berdasarkan pada SNI dan ASTM (*American Society For Testing And Materials*).

Tabel 3.2 Data Sekunder

NO	Data	Cara Peroleh Data	Kegunaan
1	Metode Pegujian kekuatan tekan mortar semen porland untuk pekerjaan sipil	SNI 03-6825-2002	Referensi
2	Metode pegujian berat jenis semen potland	SNI 15-2531-1991	Menghitung berat jenis semen
3	Metode pengujian kadar air agregat	SNI 03-1971-1990	Menghitung kadar air agregat
4	Metode pengujian kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar atau beton	SNI 03-2826-1992	Menghitung kadar organic agregat halus
5	Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus	SNI 1970-2008	Menghitung berat jenis pasir
6	Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar	SNI 03-1968-19990	Menghitung analisis saringan agregat halus
7	Metode pengujian kuat tekab beton	SNI 03-1974-1990	Menghitung nilai kuat tekan
8	Metode uji densitas, volume produksi campuran dan kadar udara (gravimetrik) beton	SNI 1973-2016	Menghitung nilai densitas

### 3.1 Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian bahan material yang telah digunakan untuk menentukan perhitungan mix design mortar, kemudian dilakukan pembuatan sampel beton. Hasil dari pengujian di laboratorium dianalisis untuk mengetahui hasil kuat tekan dan densitas motar. Setelah pembuatan dan pengujian sampel mortar selesai, baru dapat ditarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil nilai kuat tekan mortar yang dihasilkan pada pengujian

mortar tanpa CNT dipakai sebagai acuan/pembanding terhadap hasil nilai kuat tekan mortar yang menggunakan variasi campuran CNT

Pada penelitian ini menggunakan sampel mortar beton dengan campuran Carbon Nanotube sebanyak 15 sampel untuk kuat tekan dan 15 sampel untuk densitas. Benda uji kuat tekan dan densitas dalam bentuk kubus dengan ukuran bekisting 5x 5 x 5 cm. Pada benda uji ini dibuat dengan menambahkan variasi-variasi pada Carbon Nanotube sebesar 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%. Digunakan rasio 1:2,75 untuk semen dan pasir, sedangkan untuk nilai rasio air semen atau dikenal dengan Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,487%. Pada hal ini menentukan nilai persentase atau komposisi masing-masing pada komponen material pembentuk mortar untuk memperoleh suatu campuran mortar yang memenuhi kekuatan dan keawetan yang direncanakan, serta memiliki keletakkan yang sesuai dengan mempermudah proses pengerjaan. Jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Benda Uji

No	Campuran <i>Carbon nanotube</i> (%)	FAS	Jumlah Sample Kuat Tekan dan Densitas (28 hari)
1	0	0,485	3
2	0,01	0,485	3
3	0,02	0,485	3
4	0,03	0,485	3
5	0,04	0,485	3
<b>Jumlah Total</b>			<b>15</b>

Setelah bahan dan alat uji siap serta sampel uji telah dibuat, maka siap untuk diuji sesuai prosedur penelitian. Hasil dari pengujian berupa data-data kasar yang masih perlu diolah lebih lanjut untuk mengetahui hubungan/korelasi antar satu pengujian dengan pengujian lainnya. Secara umum dari pengujian-pengujian yang akan dilakukan nantinya akan menghasilkan pengaruh penambahan *carbhone nanotube* terhadap mutu mortar beton.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil penelitian, pengolahan data dan pembahasannya berdasarkan rumus - rumus dan teori pada BAB II dan metodologi penelitian yang di jelaskan pada BAB III. Hasil penelitian yang berupa data - data kasar, selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh substitusi mortar beton dengan substitusi CNT terhadap kuat tekan dan densitas mortar beton. Pembahasan hasil yang diperoleh sesuai tinjauan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah pembaca memahaminya dalam bab ini.

### 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Pengujian terhadap agregat yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian *specific gravity*, *absorbis*, *bulk density*, modulus kehalusan dan gradasi agregat. Untuk hasil selengkapnya diperlihatkan pada Lampiran B halaman 64. Hasil perhitungan dirangkum dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Berat Jenis	Hasil Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )
BJ SSD	2,64
BJ OD	2,60
BJ.APP	2,71
Absorsi air	1,63

Berdasarkan Tabel 4.1 hasil pemeriksaan sifat fisis agregat dapat dijelaskan bahwa, ketiga jenis agregat yang akan digunakan pada campuran mortar beton sudah memenuhi persyaratan. Untuk batas atau syarat yang digunakan dapat dilihat pada Bab II.

#### 4.1.2 Pengujian kelembaban

Tujuan pengujian kadar kelembaban agregat untuk mengetahui banyaknya air yang terkandung di dalam agregat. Dalam pengujian ini dapat nilai rata-rata untuk kelembaban agregat halus sebesar 3,7%.

Tabel 4.2 Kadar kelembaban agregat

Sampel	Kelembaban agregat (%)
1	4,0
2	3,7
3	3,3
Rata-Rata	3,7

#### 4.1.3 Pengujian berat volume padat agregat halus

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat volume agregat halus dalam kondisi padat. Hasil pengujian berat volume padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Berat volume padat agregat

Sampel	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1,522
2	1,517
3	1,514
Berat volume rata-rata	1,518

#### 4.1.4 Pengujian berat volume gembur agregat halus

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat volume gembur halus dalam kondisi tidak pada/gembur. Hasil pengujian berat volume gembur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.4.

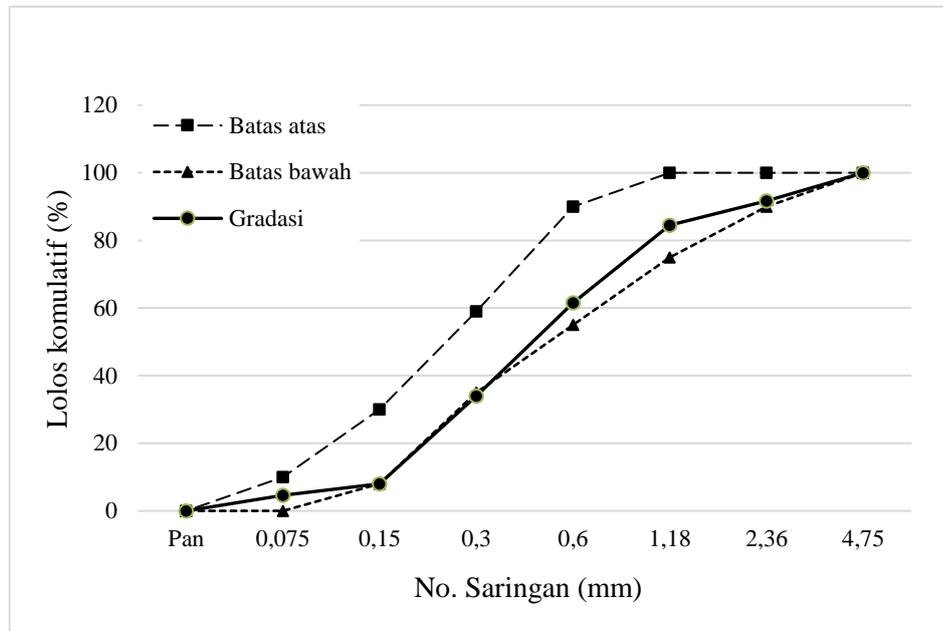
Tabel 4.4 Pengujian berat volume gembur agregat halus

Sampel	Berat Volume Gembur (gr/cm <sup>3</sup> )
1	1,484
2	1,481
3	1,474
Berat volume rata-rata	1,480

#### 4.1.5 Pengujian analisa saringan dan modulus halus butir

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir/gradasi dari agregat halus dengan saringan. Analisa saringan dilakukan dengan menggunakan saringan nomor 4 (4,75 mm), 8 (2,36 mm), 16 (1,18 mm), 30 (0,600 mm), 50 (0,300mm), 100 (0,150 mm), 200 (0,075mm). Setelah dilakukan pengujian

didapat nilai rata-rata modulus butir agregat halus sebesar 3,82 dimana nilai rata-rata MHB tersebut masuk dalam zona II berdasarkan SNI 03-2834-2000. Grafik analisis saringan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Gradasi Gabungan Agregat Halus

#### 4.1.6 Pengujian kadar organik

Pemeriksaan ini dilakukan untuk melihat kadar organik yang terkandung di dalam agregat. Dalam pengujian ini, didapat hasil kadar organik agregat halus termasuk dalam golongan 2.



Gambar 4.2 Pengujian kadar organik

#### 4.1.7 Pengujian berat jenis semen

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis semen hidrolik yang berkaitan dengan perencanaan campuran (*mix design*) beton. Berat jenis semen adalah perbandingan antara berat volume kering semen pada suhu kamar dengan berat volume air suling pada suhu  $(23\pm 2)$  °C. Setelah melakukan pengujian berat jenis semen, maka didapat hasil rata-rata berat jenis semen sebesar 3,061. Hasil pengujian berat jenis semen dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Berat jenis semen

Sampel	Berat jenis Semen (gr/cm <sup>3</sup> )
I	3,094
II	2,965
III	3,125
Rata-rata	3,061

#### 4.1.8 Rancangan campuran (*mix design*)

Penelitian ini menggunakan acuan dari SNI 03-6825-2002 sebagai pedoman rencana campuran. Rancangan campuran (*mix design*) pada mortar dilakukan untuk menentukan seberapa banyak material yang akan digunakan dalam campuran mortar beton. Material yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah semen, pasir, air, CNT, dan *superplasticizer*. Banyaknya material yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Campuran material untuk pembuatan benda uji

No	Variasi CNT (%)	Semen (gr)	Pasir (gr)	Air (ml)	CNT (ml)	SP (ml)	Jumlah benda uji
1	0	250	687,5	121	-	3,7	3
2	0,01	250	687,5	96	25	3,75	3
3	0,02	250	687,5	71	50	3,75	3
4	0,03	250	687,5	46	75	3,75	3
5	0,04	250	687,5	21	100	3,75	3

Benda uji dibuat dengan bentuk kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm untuk pengujian kuat tekan dan densitas dengan total 15 buah. Benda uji dirawat dan akan dilakukan pengujian setelah 28 hari. Pengadukan dimulai dengan mencampurkan CNT, semen, air, pasir, *superplasticizer* secara bersamaan. Pengadukan mortar ini dilakukan selama 30 detik menggunakan mesin *mixer*. Setelah tercampur rata *ready mix* dimasukkan ke dalam bekisting lalu dipadatkan agar tidak ada rongga pada beton. Setelah 1 hari, mortar dikeluarkan dari bekisting dan dilakukan perawatan selama 28 hari.

#### 4.1.9 Perawatan mortar beton

Campuran mortar yang telah dimasukkan ke dalam cetakan mortar yang berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dapat dibuka setelah 24 jam. Setelah cetakan mortar dibuka, benda uji dimasukkan ke dalam bak perendaman yang berisi air RO dan direndam selama 28 hari.

#### 4.1.10 Pengujian *slump flow*

Pengujian *slump flow* digunakan untuk mengukur nilai *slump* mortar beton, yaitu kemampuan alir beton pada permukaan bebas. Dalam pengujian ini apabila dilakukan penambahan CNT maka akan terjadi penurunan nilai *slump flow* secara signifikan dikarenakan terjadi pemadatan pada mortar. Hasil pengujian *slump flow* test dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Pengujian *Slump Flow*

Variasi CNT (%)	<i>Slump</i> (mm)	Persentase Penurunan (%)
0	143	0
0,01	140	2,10
0,02	138	3,50
0,03	135	5,59
0,04	130	9,09

#### 4.1.11 Kuat tekan mortar beton

Pengujian kuat tekan mortar beton pada penelitian ini menggunakan alat *Compreseion Testing Machine* bermerek ELE Internasional yang kapasitas 200

kN. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh. Pengujian Kuat Tekan dilakukan setelah perendaman 28 hari. Pengujian ini termasuk salah satu sifat mekanis mortar beton. Pengujian ini dilakukan dengan cara membebani benda uji secara terus menerus sehingga diperoleh pengujian kuat tekan. Pembebanan pada sampel yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menerima tekanan. Dari hasil pengujian kuat tekan yang dihasilkan diperlihatkan pada Tabel 4.8 dibawah ini :

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Variasi CNT (%)	Kuat Tekan Rata –Rata (MPa)	Persentase Kenaikan (%)
0	21,20	0
0,01	22,93	8
0,02	26,40	25
0,03	27,87	31
0,04	24,27	14

#### 4.1.12 Pengujian densitas mortar

Pengujian densitas bertujuan untuk membandingkan antara nilai densitas mortar normal dengan yang di tambah dengan *carbon nanotube*. Hasil pengujian densitas dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Densitas Mortar

Variasi CNT (%)	Densitas rata-rata (gr/cm <sup>3</sup> )	Persentase kenaikan (%)
0	2,0421	0,0
0,01	2,0832	2,0
0,02	2,1192	3,8
0,03	2,133	4,5
0,04	2,0619	1,0

#### 4.2 Pembahasan

Pembahasan hasil yang diperoleh menjelaskan secara teoritik, baik kualitatif dan kuantitatif. Pembahasan yang dilakukan mulai dari sifat fisis sampai pengujian kuat tekan beton. Adapun pembahasan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

#### **4.2.1 Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus**

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat halus (pasir) standar SNI 1970:2008, interval untuk Berat Jenis yaitu antara 1,6 - 3,3. Setelah dilakukan pengujian ini dapat rata-rata berat curah kering (Bj. OD) sebesar 2,60, lalu rata-rata berat jenis agregat pada keadaan jenuh kering permukaan (Bj. SSD) sebesar 2,64, dan rata-rata berat jenis semu (APP) 2,71. Sedangkan untuk penyerapan (absorpsi) spesifikasinya yaitu pada interval 0,20 - 2,00%. Untuk absorpsi air setelah pengujian didapat dengan nilai rata-rata sebesar 1,63%. Sehingga agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran.

#### **4.2.2 Pengujian kelembaban agregat halus**

Untuk pengujian kelembaban berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat halus (pasir) SNI 03-1971-1990, dengan interval untuk kadar air yaitu antara 2,0%-5,0%. Jadi kadar air yang diperoleh dari hasil pengujian 3,15% sesuai dengan standar spesifikasi. Sehingga agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran.

#### **4.2.3 Pengujian berat volume halus**

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat halus (pasir) standar SNI 03-4804-1998. Interval untuk berat volume yaitu antara 1400-1900 kg/m<sup>3</sup>. Jadi nilai berat volume yang diperoleh dari hasil pemeriksaan yaitu 1518 kg/m<sup>3</sup> untuk volume padat dan 1480 kg/m<sup>3</sup> untuk volume gembur. Hal ini telah sesuai spesifikasi standar.

#### **4.2.4 Pengujian analisa saringan**

Setelah dilakukan analisa saringan didapat nilai rata-rata modulus halus butir agregat halus sebesar 3,84 yang termasuk dalam zona II berdasarkan SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33 dimana gradasi pasir agak kasar. Sehingga material sesuai spesifikasi.

#### **4.2.5 Pengujian berat jenis semen dan *carbon nanotube***

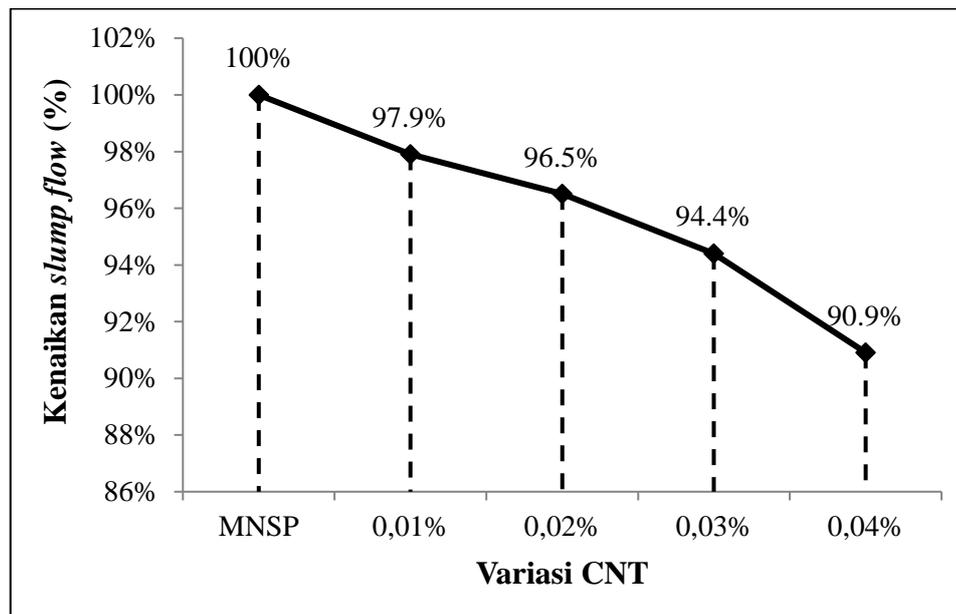
Berat jenis semen menurut SNI 15-2351-1991 berkisar antara 3,0 – 3,2. Setelah melakukan pengujian ini didapat rata-rata berat jenis semen sebesar 3,061. Hal ini telah sesuai spesifikasi standar.

#### **4.2.6 Rancangan campuran (*mix design*)**

Untuk rancangan campuran yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada standar SNI 03-6825-2002. Untuk semen 500 gram, pasir 1.375, air 242 dengan FAS 0,485. *Superplatisier* digunakan sebesar 1,5%. CNT yang digunakan bervariasi antara 0,01% , 0,02%, 0,03%, dan 0,04%.

#### **4.2.7 Pengujian *slump flow***

Dalam pengujian ini, apabila dilakukan penambahan CNT maka akan terjadi penurunan nilai slump secara signifikan dikarenakan terjadi penggumpalan pada mortar. Penggumpalan ini dapat terjadi dikarenakan CNT memiliki sifat absorpsi sehingga terjadi penyerapan pada air. Misalnya, ketika mortar ditambahkan campuran CNT sebesar 0,01%, 0,02%, 0,03% dan 0,04%. Kemampuan alir pada benda uji berkurang sebesar 15,38%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan CNT dalam jumlah kecil mempunyai dampak yang besar terhadap kemampuan alir campuran mortar.



Gambar 4.3 Persentase Penurunan Slump Flow

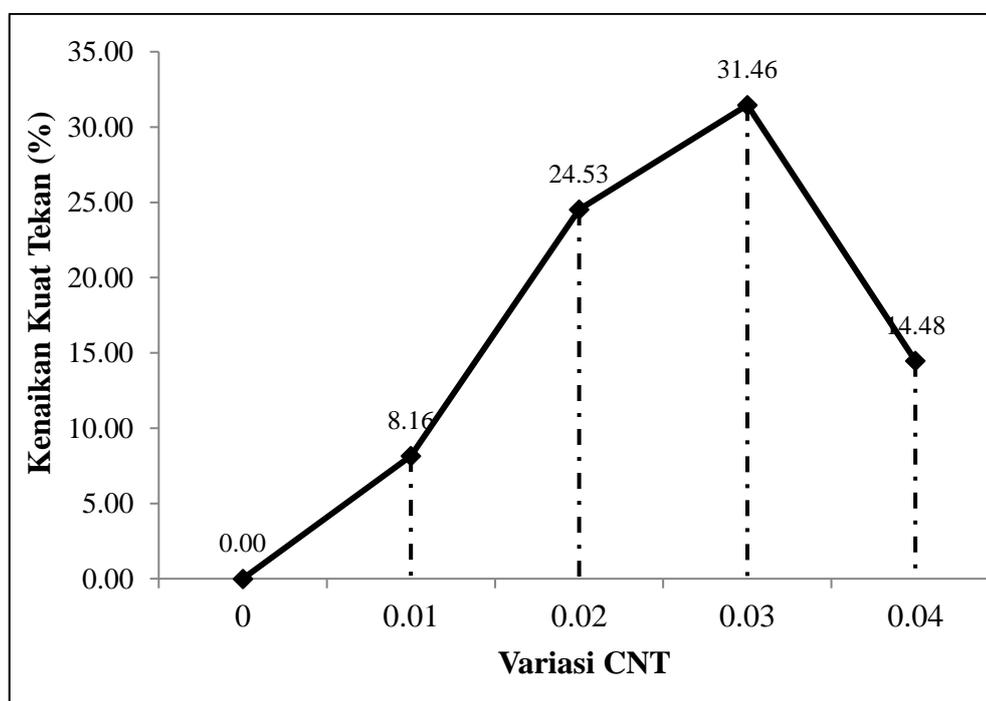
Seperti terlihat dari Gambar 4.3 untuk penambahan CNT pada penelitian ini menurunkan nilai *slump flow* sebesar 2,10% untuk variasi CNT 0,01% dibandingkan dengan benda uji kontrol, sedangkan untuk penambahan CNT 0.01%, CNT 0.02% dan CNT 0,04%, menurun sebesar 3,50%, 5,59%, dan 9,09%.

#### 4.2.8 Pengujian kuat tekan

Nilai kuat tekan mortar diperoleh dari benda uji dengan menggunakan metode perawatan normal dengan perendaman benda uji dalam air bersih dengan suhu ruang sampai umur 28 hari. Uji kuat tekan mortar dilakukan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Nilai kuat tekan mortar yang dihasilkan bervariasi akibat dipengaruhi oleh komposisi material dan umur beton. Hasil pengujian kuat tekan mortar disajikan pada Tabel 4.8. Specimen mortar tanpa CNT mempunyai kuat tekan paling kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah CNT yang lebih tinggi menyebabkan penurunan kuat tekan karena hidrasi semen lebih lambat dibandingkan hidrasi semen dengan *hybrid* CNT.

Untuk meningkatkan kuat tekan mortar, *hybrid* CNT ditambahkan ke dalam mortar. Pada seluruh spesimen mortar dengan *hybrid* nano CNT terjadi peningkatan kuat tekan dengan penggunaan CNT dari 0,01%, 0,02%, 0,03% , dan

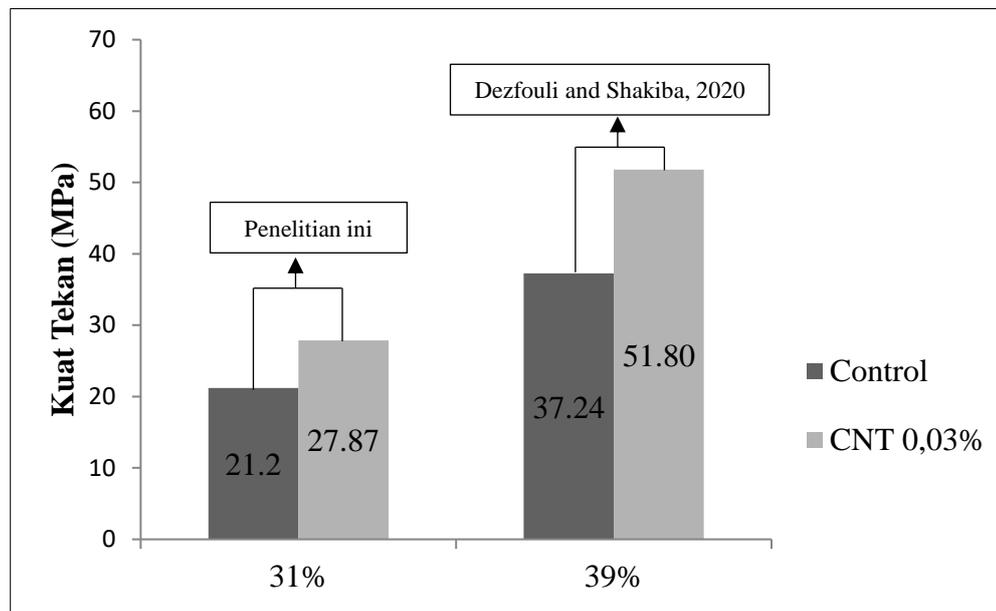
0,04%. Kemudian mengalami penurunan pada penambahan CNT 0,04%. Kekuatan tekan awal (*early strength*) mortar dengan *hybrid* nano CNT mengalami peningkatan pada penggunaan CNT dari 0,01% , 0,02%, 0,03% dan 0,04%. Kuat tekan mortar dengan *hybrid* nano pada umur 28 hari mengalami peningkatan dibandingkan dengan specimen mortar tanpa *hybrid* nano CNT. Spesimen CNT-0,03% memiliki kuat tekan paling tinggi mencapai 27,86 MPa dari kuat tekan tanpa *hybrid* nano CNT pada umur 28 hari.



Gambar 4.4 Persentase Kuat Tekan

Seperti terlihat dari Gambar di atas untuk CNT 0.03% pada penelitian ini meningkatkan kuat tekan sebesar 31% dibandingkan dengan benda uji control, sedangkan untuk penambahan CNT 0.01%, CNT 0.02%, dan CNT 0,04%, kekuatannya meningkat sebesar 8%, 25%, dan 14%.

Pada penelitian sebelumnya menurut (Dezfouli and Shakiba 2020) Didapat nilai kuat tekan variasi 0,03 dengan persentase 39%. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 perbandingan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.

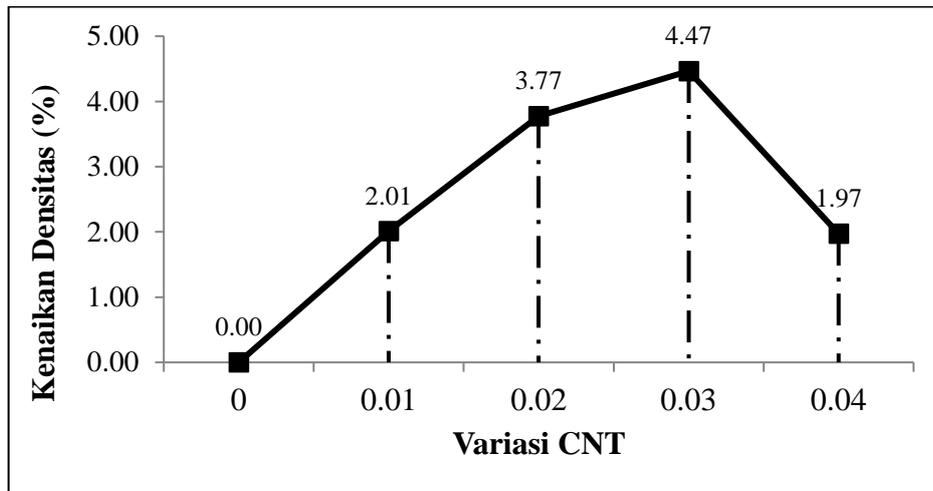


Gambar 4.5 Perbandingan hasil kuat tekan yang diperoleh pada penelitian ini dengan penelitian terdahulu

#### 4.2.9 Pengujian densitas

Nilai densitas mortar beton diperoleh dari benda uji dengan data yang diperoleh dari pengukuran dan penimbangan, yaitu massa mortar beton dan volume mortar beton digunakan dalam perhitungan densitas. Nilai densitas mortar beton bervariasi. Specimen mortar tanpa CNT mempunyai nilai densitas paling kecil dibandingkan dengan mortar beton dengan campuran CNT. Nilai densitas mortar tanpa substitusi CNT yaitu sebesar  $2,0421 \text{ gr/m}^3$ , dan nilai densitas mortar paling tinggi dengan substitusi CNT variasi 0,03% mempunyai nilai  $2,133 \text{ gr/m}^3$ .

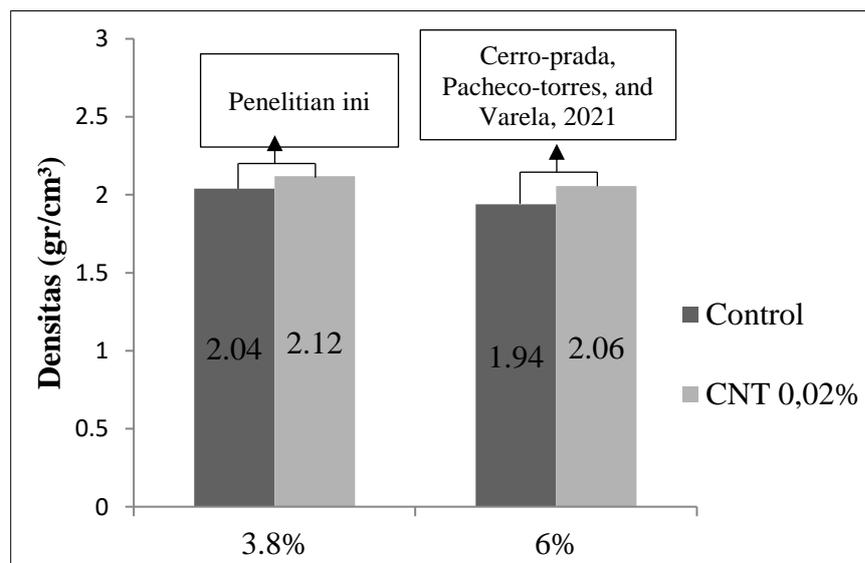
Adanya penurunan densitas pada benda uji kemungkinan disebabkan kurang tercampur rata atau tidak sempurna antara pasir, semen, air, *superplaticer*, CNT, sehingga terdapat rongga pada benda uji sehingga kerapatan massa (densitas) nya berkurang. Terjadi penurunan nilai densitas mortar beton dengan substitusi CNT pada variasi 0.04% sebesar  $2,0619 \text{ gr/m}^3$ . Hasil persentase nilai densitas mortar beton dengan substitusi CNT dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Persentase Densitas Mortar

Seperti terlihat dari Gambar 4.6 untuk CNT 0.03% pada penelitian ini meningkatkan densitas makin meningkat sebesar 4,5% dibandingkan dengan benda uji kontrol, sedangkan untuk penambahan CNT 0.01%, CNT 0.02% dan CNT 0,04%, kekuatannya meningkat sebesar 2,0%, 3,8%, dan 1,0%.

Pada penelitian sebelumnya menurut (Cerro-prada, Pacheco-torres, and Varela 2021). Didapat nilai densitas variasi 0,02% dengan persentase 6% Dapat dilihat pada Gambar 4.7 perbandingan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.



Gambar 4.7 Perbandingan hasil densitas yang diperoleh pada penelitian ini dengan penelitian terdahulu

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium dapat ditarik beberapa kesimpulan yang sesuai dengan rumusan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Pengaruh substitusi CNT terhadap kuat tekan mortar beton sangat signifikan. Dikarenakan CNT mengisi pori pada mortar sehingga mortar menjadi lebih padat. Pada pengujian ini kuat tekan mortar beton dengan substitusi CNT sebanyak 0,01%, 0,02%, 0,03% dan 0,04%. Dari total volume mortar masing-masing memiliki nilai persentase kuat tekan rata-rata sebesar 0%, 8%, 25%, 31%. dan 14%. Persentase substitusi CNT yang memiliki kuat tekan optimum adalah variasi penambahan sebanyak 0,03% yaitu 31%.
2. Pada pengujian densitas mortar beton dengan substitusi CNT sebanyak 0,01%, 0,02%, 0,03%, dan 0,04%. Memiliki nilai densitas sebesar 2,01%, 3,77%, 4,47%, dan 1,97%. Persentase campuran CNT yang memiliki nilai densitas optimum pada variasi 0,03% sebesar 4,47%. Dari penelitian densitas mortar beton dapat disimpulkan bahwa substitusi CNT kedalam mortar beton dapat mengurangi dan menutupi jumlah pori pada mortar sesuai dengan kadar CNT yang digunakan. Namun penambahan lebih banyak CNT juga dapat mengakibatkan terjadinya aglomerasi pada mortar sehingga mortar tidak dapat bekerja secara optimal.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium diperoleh beberapa saran sebagai berikut :

1. Untuk selanjutnya disarankan menggunakan penambahan CNT di atas 0,04%, *superplastisizer* lebih sedikit dari 1,5%, semen dengan kualitas yang lebih baik dan pengurangan air dengan harapan mendapatkan kuat tekan lebih tinggi.

2. Untuk penelitian berikutnya disarankan untuk melakukan penelitian mortar beton dengan menggunakan campuran *carbon nanotube* dengan karbon lainya seperti GO (*Graphene Oxide*) dan karbon lainya.
3. Untuk penelitian berikutnya, disarankan untuk melakukan pengujian sifat mekanis lainnya seperti, kuat tarik, kuat lentur, permeabilitas, dan lainya.

## DAFTAR PUSAKA

- Adhikary, Suman Kumar, Žymantas Rudžionis, Simona Tučkutė, and Deepankar Kumar Ashish. 2021. "Effects of Carbon Nanotubes on Expanded Glass and Silica Aerogel Based Lightweight Concrete." *Scientific Reports* 11(1): 1–11.
- Ahmed, Ba Rahma, Al-jaberi Hussein, Dahi Saleh, and Raizal S M Rashid. 2019. "Influence of Carbon Nanotubes ( CNTs ) in the Cement Composites Influence of Carbon Nanotubes ( CNTs ) in the Cement Composites."
- Andiska, Bayu. 2011. "Kuat Tekan ...," Bayu Andiska, FT UI, 2011."
- Anggoro, Putri Ayu, and Teguh Endah Saraswati. 2021. "Sintesis Carbon Nanotube (CNT) Menggunakan Prekursor Bahan Alam Serta Modifikasi CNT Sebagai Komposit CNT/Resin Epoksi: Review." *Proceeding of Chemistry Conferences* 6: 1.
- Cerro-prada, Elena, Rosalía Pacheco-torres, and Fernando Varela. 2021. "Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Strength And."
- Dezfouli, Abdolkarim Abbasi, and Ali Shakiba. 2020. "Investigasi Eksperimental Pengaruh Nano CarbonTube Terhadap Kekuatan Beton." 2020(1): 31–41.
- Fadlillah, Dion Aji, Frisky Sustiawan, Han Ay Lie, and Purwanto. 2014. "Pengaruh Komposisi Nano Semen Terhadap Kuat Tekan Mortar." *Jurnal Karya Teknik Sipil* 3(4): 1031–42.
- Febrianto. 2014. "Penelitian Kuat Tekan Dan Berat Jenis Mortar Untuk Dinding Panel Dengan Membandingkan Penggunaan Pasir Bangka Dan Pasir Baturaja Dengan Tambahan Foaming Agent Dan Silica Fume." 2(2).
- Harris, P. J.F. 2004. "Carbon Nanotube Composites." *International Materials Reviews* 49(1): 31–43.
- Hasbi, M Agung. 2019. "Tekan Mortar Beton Berbahan Dasar Fly Ash." 16(200): 135–43.
- Kusumaningrum, Evy, Sumarsono Sumarsono, Restu Faizah, and Nurul Chotimah. 2023. "Sifat Fisik Dan Mekanik Mortar Dengan Campuran Limbah Abu Batu Batuan Vulkanik Sebagai Pengganti Pasir." *Jurnal Riset Rekayasa Sipil* 6(2): 137.

- Lesmana. 2020. *Handbook Desain Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2019*. Makassar: CV. Nas Media Pustaka.
- Mustika, Wayan, I M. Alit K. Salain, and I K. Sudarsana. 2016. "Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Dalam Campuran Beton." *Jurnal Spektran* 4(2): 36–45.
- Nasution, Mahliza. 2022. "Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Halus. Menggunakan Agregat Halus (Pasir)." *Jurnal Bidang Aplikasi Teknik Sipil dan Sains* 1(2): 57–63.
- Pratama, Dodi, and Firdaus. 2019. "Pengaruh Suhu Pembakaran Kulit Kerang Darah Sebagai Bahan Substitusi Semen Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Mortar Beton." *Jurnal TEKNO (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering)* 16(April): 231–42.
- PUPR. 2017. "Diklat Perkerasan Kaku." *Konsep Dasar dan Konstruksi Perkerasan Kaku*.
- Risdianto, Yogie et al. 2022. "Abu Sekam Padi Dan Carbon Nanotube Sebagai Material Alternatif Penyusun Beton Ringan Seluler." *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)* 4(1): 14–20.
- Riset, Jurnal et al. 2022. "J-RITEKS." 1(1).
- Saputri, Dini Deviana, and Teguh Endah Saraswati. 2021. "Sintensis Carbon Nanotube (CNT) Berbasi Bahan Alam Limbah Tempurung Kelapa Dan Aplikasi Dalam Pembuatan Polimer Komposit Polimida-CNT." *Proceeding of Chemistry Conferences* 6: 38.
- Senff, L. et al. 2012. "Effect of Nano-SiO<sub>2</sub> and Nano-TiO<sub>2</sub> Addition on the Rheological Behavior and the Hardened Properties of Cement Mortars." *Materials Science and Engineering A* 532: 354–61.
- Sihombing, Adi Putra, Yuzuar Afrizal, and Agustin Gunawan. 2019. "Pengaruh Penambahan Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar." *Inersia, Jurnal Teknik Sipil* 10(1): 31–38.
- SNI 1973:2016. 2016. "Metode Uji Densitas, Volume Produksi Campuran Dan Kadar Udara (Gravimetrik) Beton." *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*.
- Sni 2847-2019. 2019. "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung."

*Sni 2847-2019* (8): 720.

Toruan, Armin L., O.H. Kaseke, L.F. Kereh, and T.K. Sendow. 2013. "Pengaruh Porositas Agregat Terhadap Berat Jenis Maksimum Campuran." *Jurnal Sipil Statik* 1(3): 190–95.

Vijayabhaskar, A, and M Shanmugasundaram. 2017. "Usage of Carbon Nanotubes and Nano Fibers in Cement and Concrete : A Review." 9(2): 564–69.

Zuraidah, Safrin, and Budi Hastono. 2018. "Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan." *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil* 1(1): 8–13.

**LAMPIRAN A**  
**PERHITUNGAN**

**A.1 Pengujian Sifat Fisis Semen**

**A.1.1 Berat Jenis Semen**

Berat jenis semen pada penelitian ini di hitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$B_j = \frac{w_1}{(v_2 - v_1) \gamma_d} \dots\dots\dots (1)$$

Di mana :

- $B_j$  = Berat Jenis Semen (gram/cm<sup>3</sup>)
- $W_1$  = Berat Sampel Semen (gram)
- $V_1$  = Pembacaan Skala Awal (cm)
- $V_2$  = Pembacaan Skala Akhir (cm)
- $\gamma_d$  = Berat Volume Air Pada Suhu 28°

Maka berat jenis semen untuk sampel 1 diperoleh dengan cara sebagai berikut :

- Berat Semen  $W_1$  = 64 gram
- Pembacaan Skala Awal  $V_1$  = 0,4
- Pembacaan Skala Akhir  $V_2$  = 21
- Berat Air ( $\gamma_d$ ) Pada Suhu 28° = 0,996

$$B_j = \frac{w_1}{(v_2 - v_1) \gamma_d}$$

$$B_j = \frac{64}{(21 - 0,2) 0,996}$$

$$B_j = 3,094$$

Untuk sampel I diperoleh berat jenis semen sebesar 3,09 Selanjutnya perhitungan berat jenis semen pada sampel II dan III dihitung dengan cara yang sama, prhitungan dapat dilihat pada (Lampiran B,Tabel B.4).

## A.2 Perhitungan Kadar Air Agregat Halus

Untuk menghitung kadar air agregat halus dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

Kadar Kelembapan

$$\frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Di mana :

W1 = Berat Cawan (gr)

W2 = Berat Benda Uji + Cawan (gram)

W3 = Berat Benda Uji Kering Oven + Cawan (gram)

Kadar air agregat halus sampel 1 dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut :

- Berat cawan W1 = 175 gram
- Berat benda uji awal + cawan (gr) W2 = 2.675,0 gram
- Berat benda uji kering oven + cawan (gr) W3 = 2.580,0gram

$$\begin{aligned} \text{Kadar air} &= \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\% \\ &= \frac{2.675 - 2.580,0}{2.580,0 - 175} \times 100\% \\ &= 4,0 \% \end{aligned}$$

Untuk sampel I diperoleh hasil kadar air agregat halus seberat 4,0%. Untuk perhitungan sampel II dan III kadar air agregat halus dengan cara yang sama dapat dilihat pada lampiran B Tabel B.3.

## A.3 Perhitungan Berat Jenis Dan Penyerapam Air Agregat Halus

Berat jenis agregat halus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Bj.OD = \frac{W_4}{(W_2+W_4-W_3) \gamma_d} \dots\dots\dots (3)$$

$$Bj.SSD = \frac{W_4}{(W_2+W_4-W_3) \gamma_d} \dots\dots\dots (4)$$

$$Bj.App = \frac{W_1}{(W_2+W_1-W_3) \gamma_d} \dots\dots\dots (5)$$

$$W^a = \frac{(W_4-W_1)}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Di mana :

Bj. SSD = Berat jenis benda uji dalam keadaan jenuh permukaan ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Bj. App = Berat jenis semu

Wa = Penyerapan air

W1 = Benda uji kering oven (gr)

W2 = Berat piknometer + air + plat kaca (gr)

W3 = Berat piknometer + air + benda uji + plat kaca (gr)

W4 = Benda uji jenuh kering permukaan (gr)

$\gamma_d$  = Berat isi air pada suhu  $28^\circ\text{C}=0,996$

Perhitungan berat jenis agregat halus sampel I dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

- Benda uji kering oven (W1) = 493,3
- Berat piknometer +air+plat kaca (W2) = 2005
- Berat piknometer+air+benda uji+plat kaca (W3) = 2315
- Benda uji jenuh kering permukaan (W4) = 500
- Berat isi air pada suhu  $28^\circ\text{C}$  = 0,996
- Berat jenis curah, kering oven(bulk specific gravity OD)

$$\begin{aligned} \text{Bj.OD} &= \frac{W_4}{(W_2+W_4-W_3) \gamma_d} \\ &= \frac{500}{(2005+500-2315) \times 0,996} \\ &= 2,61 \text{ gr}/\text{cm}^3 \end{aligned}$$

- Berat jenis curah, jenuh kering permukaan (bulk specific gravity SSD)

$$\begin{aligned} \text{Bj.SSD} &= \frac{W_4}{(W_2+W_1-W_3) \gamma_d} \\ &= \frac{500}{(2005+493,3-2315) \times 0,996} \\ &= 2,64 \text{ gr}/\text{cm}^3 \end{aligned}$$

- Berat jenis semu (apparent specific gravity)

$$\begin{aligned} \text{Bj.App} &= \frac{W_1}{(W_2+W_1-W_3) \gamma_d} \\ &= \frac{493,3}{(2005+493,3-2315) \times 0,996} \\ &= 2,70 \text{ gr}/\text{cm}^3 \end{aligned}$$

- Penyerapan air (water absorption)

$$\begin{aligned} W_a &= \frac{(W_4 - W_1)}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{(500 - 493,3)}{493,3} \times 100\% \\ &= 1,36\% \end{aligned}$$

Untuk sampel I diperoleh berat jenis curah, kering oven (OD) sebesar 2,61 gr/cm<sup>3</sup> berat jenis curah, jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,64 gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis semu (APP) sebesar 2,70 gr/cm<sup>3</sup>, penyerapan air (Wa) sebesar 1,36 %. Untuk perhitungan sampel II dan III dapat diperlihatkan pada lampiran B tabel B.2.

#### A.4 Berat Volume Gembur Pada Agregat Halus

Berat volume dilakukan dengan dua pengujian yaitu berat volume gembur dan berat volume padat dengan menggunakan literan (silinder/tabung kapasitas 2,8L).

##### A.4.1 Volume gembur agregat halus

Berat volume gembur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Perhitungan volume air : } W_4 = W_3 - (W_1 + W_2) \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Berat volume gembur : } \frac{W_5 - W_2}{W_4} \dots\dots\dots (8)$$

Di mana :

W1 = Berat plat kaca (gr)

W2 = Berat silinder (gr)

W3 = Berat silinder + air + plat kaca (gr)

W4 = Volume air dalam silinder (cm<sup>3</sup>)

W5 = Berat silinder + benda uji yang telah dipadatkan (gr)

Maka perhitungan berat volume gembur agregat halus yang diketahui :

- Berat plat kaca (W1) = 2195
- Berat silinder (W2) = 4095
- Berat silinder + air + plat kaca (W3) = 9305

$$\begin{aligned}
 - \text{ Volume air dalam silinder (W4)} &= 3015 \\
 - \text{ Berat silinder + benda uji (W5)} &= 8570 \\
 \text{Volume air (W4)} &= (W3-(W1+W2)) \\
 &= (9503 - (2195 + 4095)) \\
 &= 3015 \text{ gr} \\
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W5 - W2}{W4} \\
 &= \frac{8570 - 4095}{3015} \\
 &= 1,484 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan sampel I diperoleh volume air sebesar 3015 gr, dan volume gembur agregat halus sebesar 1,484 gr/cm<sup>3</sup>. Selanjutnya perhitungan volume gembur agregat halus pada sampel II dan III dihitung dengan cara yang sama. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B tabel B.5.

#### A.4.2 Volume padat agregat halus

Berat volume padat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Perhitungan volume air : } W4 = W3-(W1+W2) \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Berat volume gembur : } \frac{W5 - W2}{W4} \dots\dots\dots (8)$$

Di mana :

W1 = Berat plat kaca (gr)

W2 = Berat silinder (gr)

W3 = Berat silinder + air + plat kaca (gr)

W4 = Volume air dalam silinder (cm<sup>3</sup>)

W5 = Berat silinder + benda uji yang telah dipadatkan (gr)

Maka perhitungan berat volume gembur agregat halus yang diketahui :

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat plat kaca (W1)} &= 2195 \\
 - \text{ Berat silinder (W2)} &= 4095 \\
 - \text{ Berat silinder + air + plat kaca (W3)} &= 9305 \\
 - \text{ Volume air dalam silinder (W4)} &= 3015 \\
 - \text{ Berat silinder + benda uji (W5)} &= 8670
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume air (W4)} &= (W3-(W1+W2)) \\
 &= (9503 - (2195 + 4095)) \\
 &= 3015 \text{ gr} \\
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W5 - W2}{W4} \\
 &= \frac{8685 - 4095}{3015} \\
 &= 1,522 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan sampel I diperoleh volume air sebesar 3015 gr, dan volume padat agregat halus sebesar 1,522 gr/cm<sup>3</sup>. Selanjutnya perhitungan volume padat agregat halus pada sampel II dan III dihitung dengan cara yang sama. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B tabel B.6.

#### A.5 Perhitungan Kuat Tekan Mortar

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan mortar, maka akan diperoleh hasil dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Luas bidang permukaan benda uji (A) = (s)<sup>2</sup>  
= 2500 mm<sup>2</sup>
- Beban tekan maksimum (P) = 54000N
- Faktor umur mortar untuk 28 hari = 1
- Maka kuat tekan mortar (f'c) =  $\frac{P}{A} = \frac{54000 \text{ N}}{2500 \text{ mm}^2} = 21,6 \text{ N/mm}^2$

Adapun untuk perhitungan sampel berikutnya dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama yang dapat dilihat pada Lampiran B, tabel B.9.

#### A.7 Perhitungan Densitas Mortar

Setelah dilakukan pengujian densitas, maka akan diperoleh hasil densitas dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

- Volume benda uji (Vk) = 5 cm x 5cm x 5cm  
= 125 cm<sup>3</sup>
- Massa benda uji (Mk) = 252,1
- Densitas mortar (ps) =  $\frac{\text{Massabenda uji}}{\text{Volumebenda uji}}$

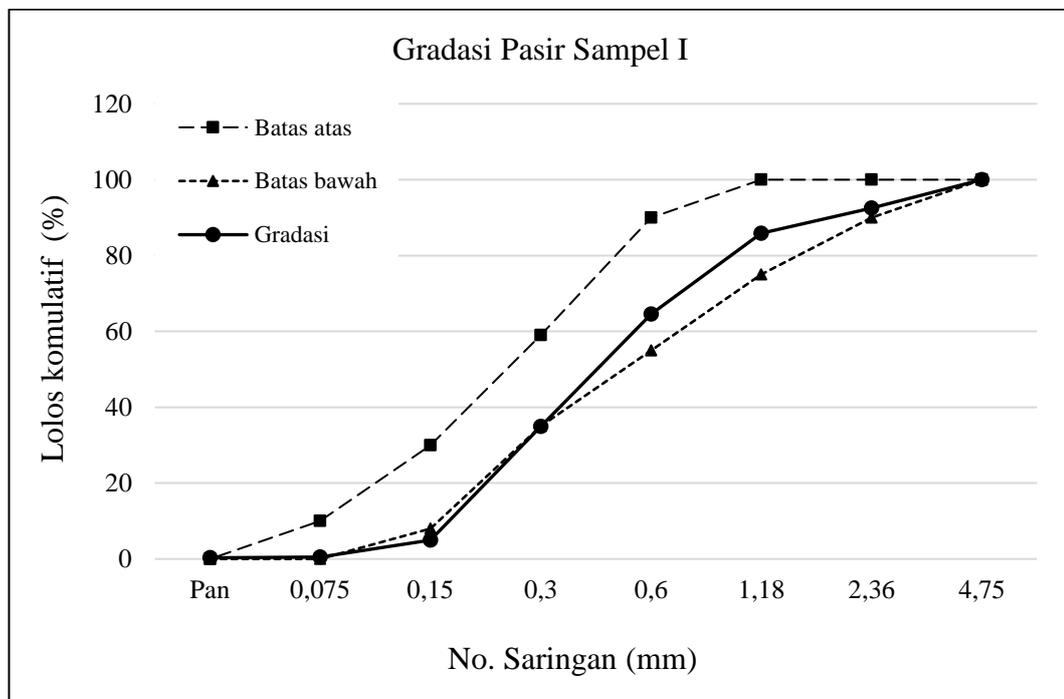
$$\begin{aligned} &= \frac{252,1 \text{ gr}}{125 \text{ cm}^{-3}} \\ &= 2,016 \text{ gr/m}^3 \end{aligned}$$

Adapun untuk perhitungan sampel berikutnya dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama yang dapat dilihat pada Lampiran B, tabel B.10

**LAMPIRAN B**  
**TABEL DAN GRAFIK**

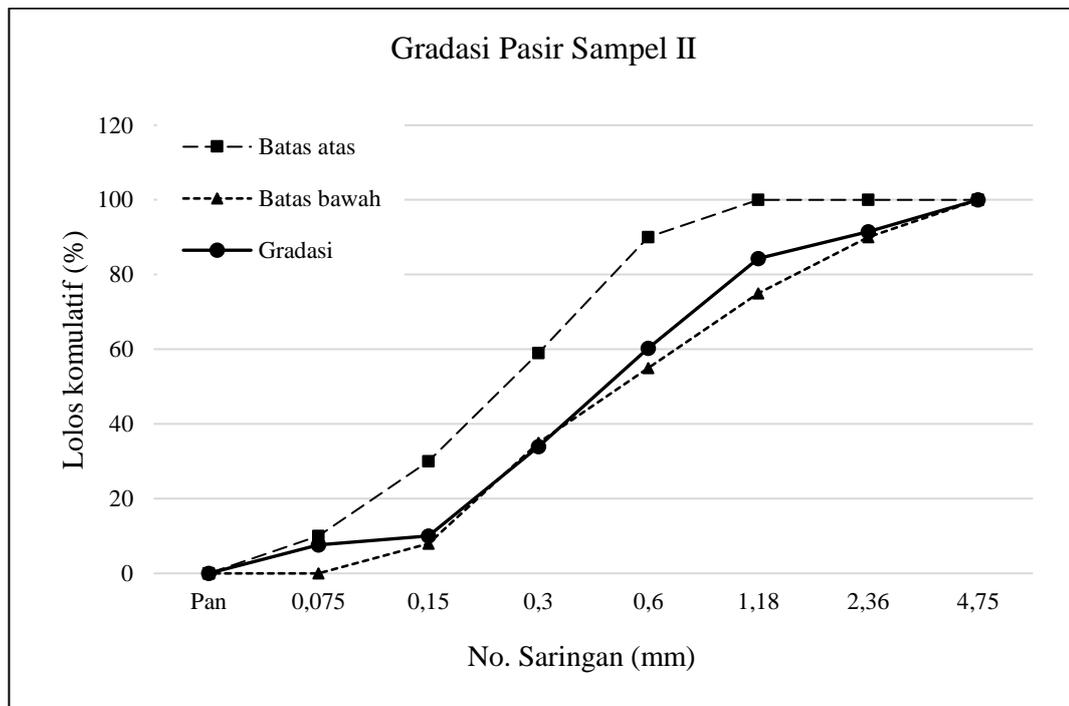
Tabel B.1 Analisa Saringan Agregat Halus  
Berat Sampel Agregat Halus = 500 gram

Sampel	Nomor saringan (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat material (gram)	% Tertahan	% Tertinggal komulatif	% Lolos komulatif
<b>I</b>	4,75	416	416	0,00	0,00	0,00	100,00
	2,36	390	465	75,00	7,50	7,50	92,50
	1,18	387	453	66,00	6,60	14,10	85,90
	0,6	358	571	213,00	21,30	35,40	64,60
	0,3	375	672	297,00	29,70	65,10	34,90
	0,15	376	675	299,00	29,90	95,00	5,00
	0,075	378	423	45,00	4,50	99,50	0,50
	Pan	338	340	2,00	0,20	99,70	0,30
<b>Jumlah</b>				<b>997,00</b>	<b>99,70</b>	<b>416,30</b>	<b>383,70</b>



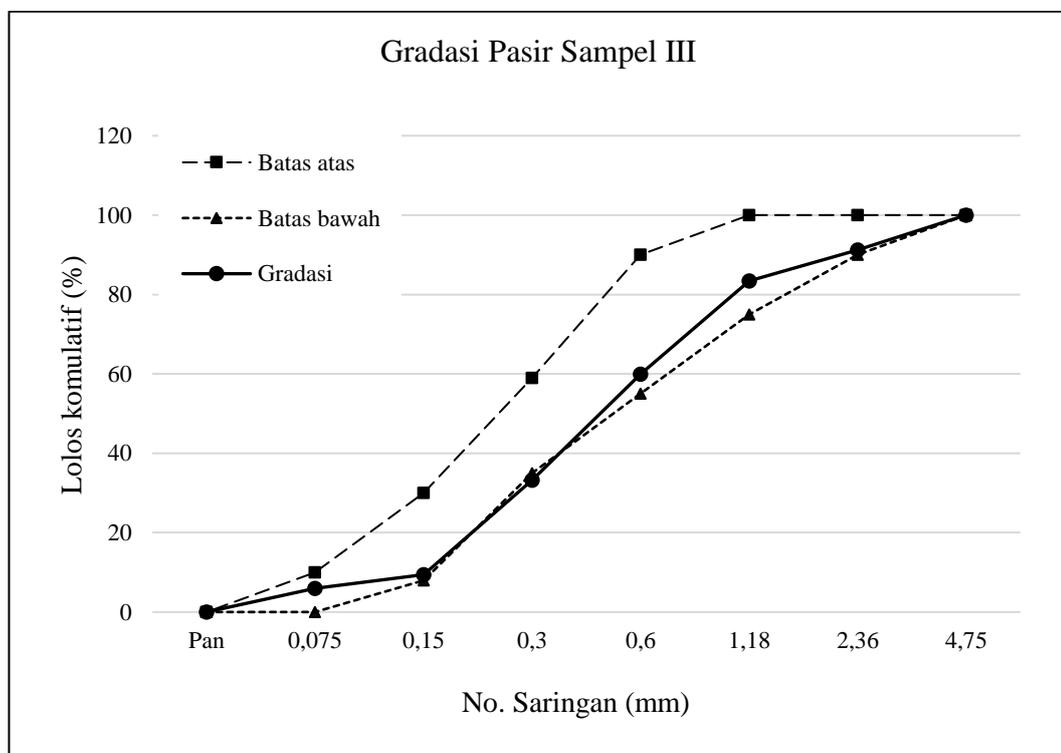
Gambar B.1 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel I

Sampel	Nomor saringan (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat material (gram)	% Tertahan	% Tertinggal komulatif	% Lolos komulatif
II	4,75	416	416	0	0,00	0,00	100,00
	2,36	390	475	85	8,50	8,50	91,50
	1,18	387	459	72	7,20	15,70	84,30
	0,6	358	598	240	24,00	39,70	60,30
	0,3	375	638	263	26,30	66,00	34,00
	0,15	376	616	240	24,00	90,00	10,00
	0,075	378	402	24	2,40	92,40	7,60
	Pan	338	414	76	7,60	100,00	0,00
<b>Jumlah</b>				<b>1000,00</b>	<b>100,00</b>	<b>412,30</b>	<b>387,70</b>



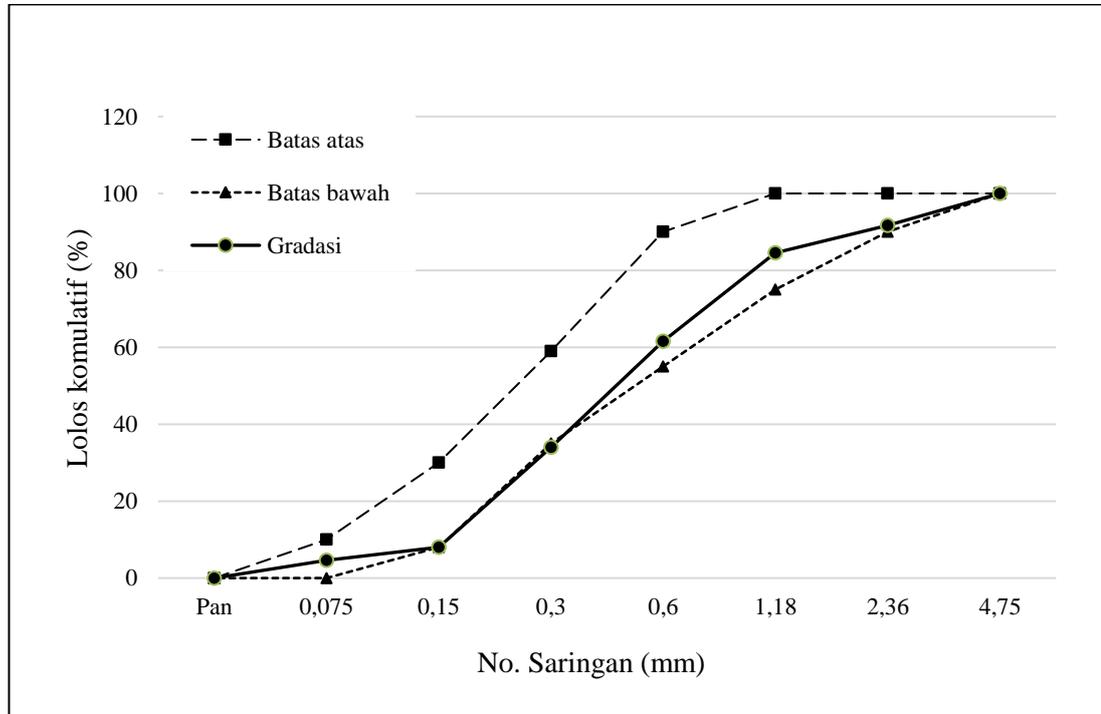
Gambar B.2 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel II

Sampel	Nomor saringan (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat material (gram)	% Tertahan	% Tertinggal komulatif	% Lolos komulatif
III	4,75	416	416	0,00	0,00	0,00	100,00
	2,36	390	478	88,00	8,80	8,80	91,20
	1,18	387	465	78,00	7,80	16,60	83,40
	0,6	358	593	235,00	23,50	40,10	59,90
	0,3	375	642	267,00	26,70	66,80	33,20
	0,15	376	614	238,00	23,80	90,60	9,40
	0,075	378	412	34,00	3,40	94,00	6,00
	Pan	338	398	60,00	6,00	100,00	0,00
<b>Jumlah</b>				<b>1000,00</b>	<b>100,00</b>	<b>416,90</b>	<b>383,10</b>



Gambar B.3 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel III

Nomor saringan (mm)	Berat tertahan sampel			Rata –rata	% Tertahan	% Tertinggal komulatif	% Lolos komulatif
	I	II	III				
4,75	0	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00
2,36	75	85	88	82,67	8,27	8,27	91,73
1,18	66	72	78	72,00	7,21	15,48	84,52
0,6	213	240	235	229,33	22,96	38,44	61,56
0,3	297	263	267	275,67	27,59	66,03	33,97
0,15	299	240	238	259,00	25,93	91,96	8,04
0,075	45	24	34	34,33	3,44	95,40	4,60
Pan	2	76	60	46,00	4,60	100,00	0,00
<b>Jumlah</b>	<b>997</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>999,00</b>	<b>100,00</b>	<b>415,58</b>	<b>384,42</b>
<b>MHB</b>						<b>4,16</b>	<b>3,84</b>



Gambar B.4 Analisa Saringan Gabungan Agregat Halus

Tabel B.2 Berat Jenis Agregat Halus

Berat Sampel Agregat Halus = 500 gram

Berat (gram)	Notasi	Sampel		
		I	II	III
Berat uji kering oven	W1	493,3	493	489,7
Piknometer + air + plat kaca	W2	2005	2005	2005
Piknometer + air + plat kaca + benda uji	W3	2315	2315	2315
Benda uji SSD	W4	500	500	500
Berat volume air (gr/cm <sup>3</sup> )	yd	0,996	0,996	0,996

Sampel	Berat jenis			Absorsi air
	Bj. OD	Bj. SSD	Bj. APP	
I	2,61	2,64	2,70	1,36
II	2,61	2,64	2,70	1,42
III	2,59	2,64	2,74	2,10
<b>Rata-rata</b>	2,60	2,64	2,71	1,63

Tabel B.3 Kadar Air Agregat Halus

Berat Sampel Agregat Halus = 2500 gram

Sampel	Berat cawan (W1) (gram)	Berat cawan + agregat (W2) (gram)	Berat agregat kering oven + cawan (W3) (gram)	Kadar air (%)
I	175,0	2.675,0	2.580,0	4,0
II	165,0	2.665,0	2.575,0	3,7
III	170,0	2.670,0	2.590,0	3,3
<b>Kadar air rata-rata (%)</b>				<b>3,7</b>

Tabel B.4 Perhitungan Berat Jenis Semen

Berat Sampel Agregat = 64 gram

Berat (gram)	Notasi	Sampel		
		I	II	III
Berat semen (gr)		64	64	64
Pembacaan Skala Awal Le Chatelier (cm)	V1	0,4	0,5	0,6
Pembacaan Skala Akhir Le Chatelier (cm)	V2	21	22	21
Berat volume air (gr/cm <sup>3</sup> )	yd	0,996	0,996	0,996
Berat Jenis Semen		3,096	2,965	3,061
Berat Rata-Rata		3,061		

Tabel B.5 Berat Volume Gembur Agregat Halus

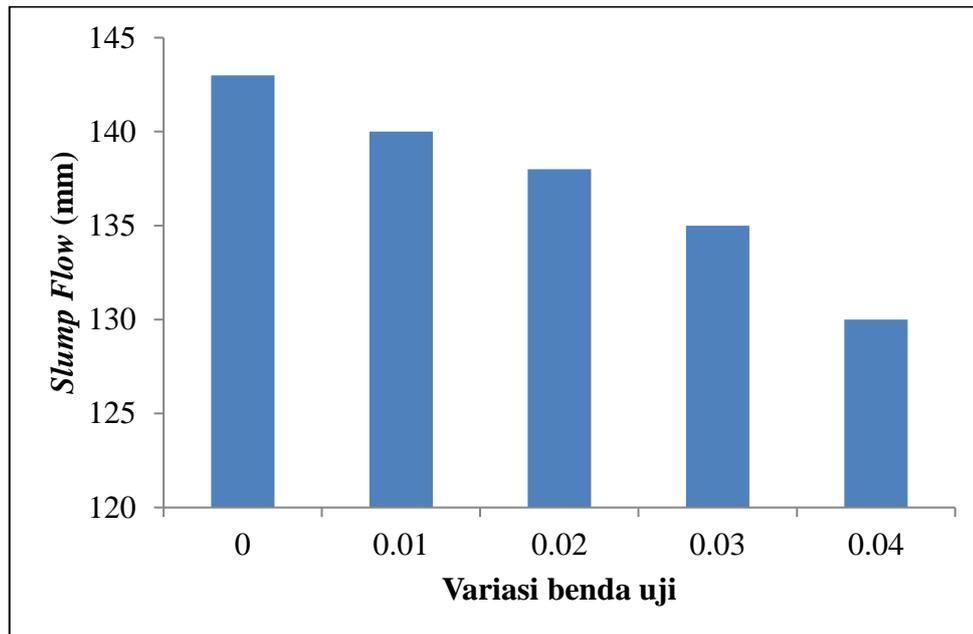
Sampel	Berat		Volume literan	Berat volume
	Literan (gram)	Literan + agregat (W5) (gram)	W4 (gram)	$\frac{W5 - W2}{W4}$
I	4095	8570	3015	1,484
II	4095	8560	3015	1,481
III	4095	8540	3015	1,474
<b>Berat volume rata-rata (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				<b>1,480</b>

Tabel B.6 Berat Volume Padat Agregat Halus

Sampel	Berat		Volume literan	Berat volume
	Literan (gram)	Literan + agregat (W5) (gram)	W4 (gram)	$\frac{W5 - W2}{W4}$
I	4095	8685	3015	1,522
II	4095	8670	3015	1,517
III	4095	8660	3015	1,514
<b>Berat volume rata-rata (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				<b>1,518</b>

Tabel B.7 Pengujian Slump Flow Test

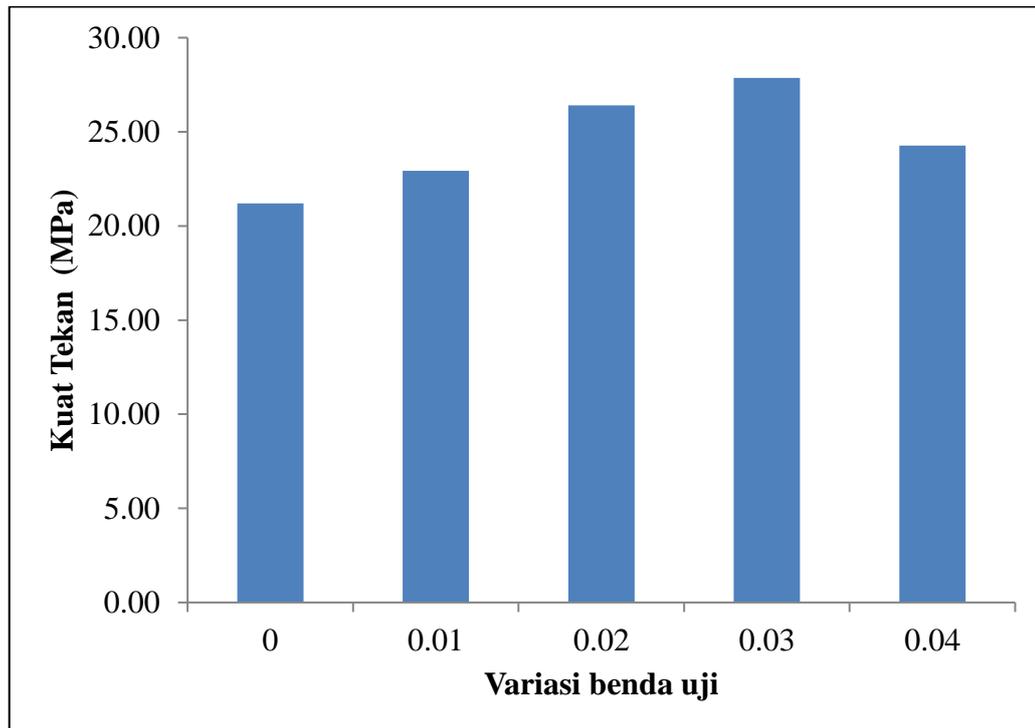
Variasi CNT	Slump (mm)
0	143
0,01	140
0,02	138
0,03	135
0,04	130



Gambar B.5 Pengujian Slump Flow test

Tabel B.8 Pengujian Kuat Tekan

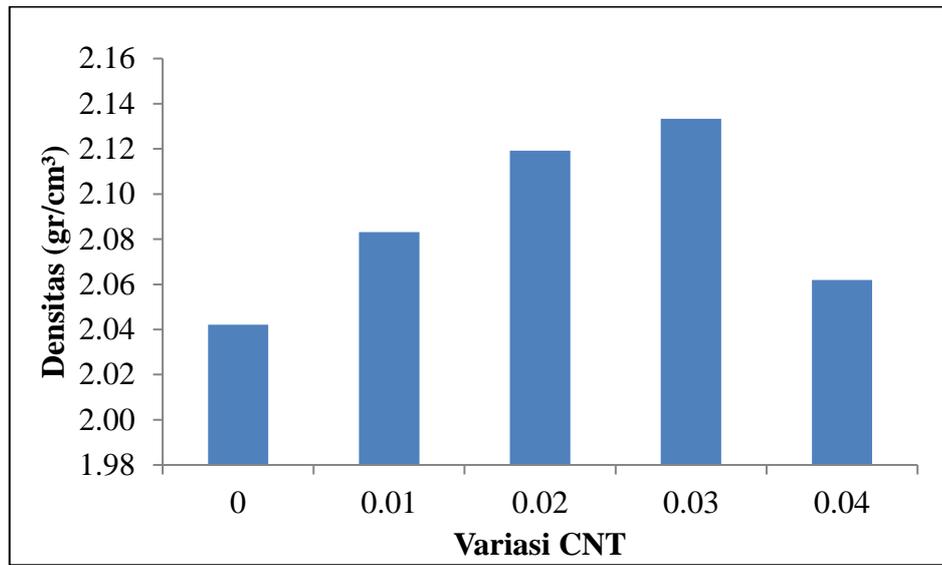
No	Variasi CNT	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	P Maks (KN)	P Maks (N)	Umur beton (hari)	f <sub>c</sub> (Mpa)	f <sub>c</sub> Rata-Rata	Persentase Kenaikan
1	0	2500	54	54000	28	21,6	21,2	0%
2		2500	58	58000	28	23,2		
3		2500	47	47000	28	18,8		
4	0,01	2500	54	54000	28	21,6	22,93	8%
5		2500	61	61000	28	24,4		
6		2500	57	57000	28	22,8		
7	0,02	2500	57	57000	28	22,8	26,4	25%
8		2500	74	74000	28	29,6		
9		2500	67	67000	28	26,8		
10	0,03	2500	69	69000	28	27,6	27,87	31%
11		2500	79	79000	28	31,6		
12		2500	61	61000	28	24,4		
13	0,04	2500	50	50000	28	20	24,27	14%
14		2500	75	75000	28	30		
15		2500	57	57000	28	22,8		



Gambar B.6 Pengujian Kuat Tekan

Tabel B. 9 Pengujian Densitas Mortar

No	Variasi CNT	Berat (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (gr/m <sup>3</sup> )	Densitas Rata-rata (gr/m <sup>3</sup> )	Persentase Kenaikan
1	0	260,8	125	2,086	2,0421	0,0%
2		255,9	125	2,047		
3		249,1	125	1,992		
4	0,01	262,0	125	2,096	2,0832	2,0%
5		259,6	125	2,076		
6		259,6	125	2,076		
7	0,02	256,6	125	2,052	2,1192	3,8%
8		270,4	125	2,163		
9		267,7	125	2,141		
10	0,03	268,0	125	2,144	2,133	4,5%
11		261,5	125	2,092		
12		270,5	125	2,164		
13	0,04	254,7	125	2,037	2,06119	1,0%
14		257,5	125	2,060		
15		261,0	125	2,088		



Gambar B.7 Pengujian Densitas

**LAMPIRAN C**

**GAMBAR**



Gambar C.1 Analisa Saringan



Gambar C.2 Pengujian Berat Jenis Semen



Gambar C.3 Pengujian Kadar organik



Gambar C.4 Persiapan Bekisting Kubus



Gambar C.5 Pengecoran Benda Uji



Gambar C.6 Memasukkan Mortar Dalam Mini Slump Flow Test



Gambar C.7 Pengukuran Slump Flow Test



Gambar C.8 Memasukan Benda Uji Ke Dalam Bekisting



Gambar C.9 Perawatan Benda Uji



Gambar C.10 Penimbangan Benda Uji Kubus



Gambar C.11 Pengujian Kuat Tekan Mortar

**LAMPIRAN D**  
**DOKUMEN ADMINISTRASI DAN BIODATA**

**1. Personal**

Nama : Siti Sarah  
NIM : 190110116  
Bidang : Struktur  
Alamat : Jalan Banda Aceh – Medan KM.6,Meunasah  
Krueng, Ingin Jaya, Aceh Besar  
No Hp : 082275998928

**2. Orang Tua**

Nama Ayah : Ismail, S.E  
Pekerjaan : Wiraswasta  
Umur : 59 tahun  
Alamat : Jalan Banda Aceh – Medan KM.6,Meunasah  
Krueng, Ingin Jaya, Aceh Besar

Nama Ibu : Mawarni, S.E., M.M  
Pekerjaan : Pensiunan Pegawai Negeri Sipil  
Umur : 59 tahun  
Alamat : Jalan Banda Aceh – Medan KM.6,Meunasah  
Krueng, Ingin Jaya, Aceh Besar

**3. Pendidikan Formal**

Asal SLTA : SMAN 2 Unggul Ali Hasjmy  
Asal SLTP : MTs Teungku Chiek Umar Diyan  
Asal SD : SDN 1 Pagar Air

#### 4. Software Komputer Yang dikuasai

Jenis Software : AutoCAD

Tingkat Penguasaan : ~~Basic~~/Intermediate/~~Advance~~

Jenis Software : SAP2000

Tingkat Penguasaan : Basic/~~Intermediate~~/~~Advance~~

Jenis Software : Ms. Office

Tingkat Penguasaan : ~~Basic~~/~~Intermediate~~/Advance