

No. inventaris: 323.S.01.2024



**universitas
MALIKUSSALEH**

SKRIPSI

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

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
SARJANA TEKNIK
Pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh**

Disusun oleh,

DINDA ARGA PUTRI

190110058

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH**

2024

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dinda Arga Putri

Nim : 190110058

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat digunakan seperlunya.

Lhokseumawe, 07 Februari 2024

Saya yang membuat pernyataan



Dinda Arga Putri

190110058

LEMBARAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan *Carbon Nanotube* Terhadap
Kuat Tekan dan Absorpsi Mortar Beton
Nama Mahasiswa : Dinda Arga Putri
Nomor Mahasiswa : 190110058
Program Studi : S1 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., M.T
Ketua Penguji : Prof. Dr. Ir. Wesli., MT
Anggota Penguji : Syarifah Asria Nanda, ST., MT

Lhokseumawe, 07 Februari 2024

Penulis



Dinda Arga Putri
Nim. 190110058

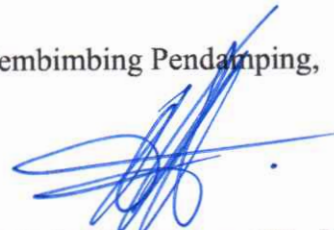
Menyetujui:

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



Said Jalalul Akbar, ST., M.T
NIP. 197107032002121001

Koordinator Program Studi,



Nura Usrina, ST., M.T
NIP. 199004042023212058

Mengetahui:

Wakil Dekan Bidang Akademik,



Dr. Ing. Sofyan, ST., MT
NIP. 197508182002121003

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah S.W.T yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Skripsi dengan judul “**Pengaruh Penggunaan *Carbon Nanotube* terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Mortar Beton**” dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan kelulusan penyelesaian Pendidikan di Universitas Malikussaleh.

Proses penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari berbagai pihak yang senantiasa membantu, mendukung, dan membimbing, serta memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam berbagai bentuk. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Fithra, ST., MT., IPM., ASEAN Eng, selaku Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, ST., M.T, selaku Dekanat Fakultas Teknik.
3. Bapak Dr. Ing. Sofyan, ST., MT, selaku Wakil Dekan bidang Akademik.
4. Bapak Dr. Yulius Rief Alkhaly, ST., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil.
5. Ibu Nura Usrina, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
6. Bapak Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Said Jalalul Akbar, ST., MT, selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah membimbing penyusunan skripsi ini.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Wesli., MT, selaku Ketua Penguji.
9. Ibu Syarifah Asria Nanda, ST., MT selaku Anggota Penguji.
10. Kedua orang tua dan keluarga tercinta, yang telah memberikan selalu dukungan dan doanya kepada penulis.
11. Rekan-rekan seperjuangan yang senantiasa memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Seluruh pengajar dan staf di lingkungan Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini jauh dari kata sempurna karena keterbatasan pengetahuan. Dengan kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran agar pada masa yang akan datang penulis dapat lebih baik dalam penulisan ilmiah lainnya.

Lhokseumawe, 07 Februari 2024

Dinda Arga Putri
NIM. 190110058

LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah, puji Syukur kepada Allah SWT. Yang telah memberikan nikmat yang sangat luar biasa, memberi saya kekuatan, membekali saya dengan ilmu pengetahuan serta memperkenalkan saya dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang engkau berikan, akhirnya Skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam selalu tercurah limpahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW.

Segala perjuangan saya hingga titik ini, saya persembahkan teruntuk orang – orang hebat yang selalu menjadi penyemangat, menjadi alasan saya kuat sehingga bisa menyelesaikan Skripsi ini.

Kepada kedua Orang Tua yang paling berjasa dalam hidup saya Ayahanda Zakaria dan Ibunda Reni Armianti. Terimakasih atas kepercayaan yang telah diberikan kepada saya untuk merantau dari kalian, serta pengorbanan, cinta, do'a, motivasi, semangat dan nasihat yang tidak hentinya diberikan kepada anaknya dalam penyusunan Skripsi ini. Semoga Allah SWT selalu menjaga kalian dalam kebaikan dan kemudahan Aamiin.

Kepada kakak saya Ainun Reska perempuan hebat yang telah menjadi penyemangat dan bagian besar untuk hidup ini. Terimakasih sudah menjadi kakak terbaik yang selalu menemani dalam menghadapi pahitnya kehidupan hingga diusia sekarang. Dan adik saya tercinta Habib Ardhana terimakasih atas segala do'a, dan dukungan yang telah diberikan kepada saya.

Kepada Bapak Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng dan Bapak Said Jalalul Akbar, ST., MT selaku Dosen Pembimbing dan Dosen Pendamping. Terimakasih atas bimbingan, kritik dan saran, dan selalu meluangkan waktunya disela kesibukan. Terimakasih bapak, semoga jeri payahmu terbayarkan dan semoga selalu dilimpahkan kesehatan dan kebahagiaan.

Kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Wesli, MT dan Ibu Syarifah Asria Nanda, ST., MT selaku Dosen Penguji. Terimakasih telah memberikan saran dan masukan dalam skripsi ini agar lebih baik. Semoga Bapak dan Ibu diberi Kesehatan dan kebahagiaan selalu.

Kepada Sahabat saya dari SMP, Fhaira Tania Nur Adha, Nurul Mutia, dan Yulinar Safira. Terimakasih selalu memberi semangat, dukungan, nasehat dan do'a untuk saya selama ini. Terimakasih sudah mau mendengarkan keluh kesah diperkuliahan. Semoga selalu diberi kesehatan dan kebahagiaan.

Kepada Shinta Rahmayanti terimakasih karena telah memberi semangat dan dukungan. Menemani dikala gabut dan mau diajak kemana aja. Terimakasih sudah banyak memberi nasihat dan masukan. Terimakasih telah membantu walaupun dari jarak jauh. Terimakasih untuk canda, tawa, tangis dan kenangan manis. Semoga selalu diberi kesehatan dan kebahagiaan.

Kepada Crazy Rich, Tisatun Hasanah, Siti Sarah, Shinta Rahmayanti dan Ridhatul Al Vira, yang menemani saya dari semester awal kuliah hingga akhir. Terimakasih selalu ada disaat saya susah dan senang, terimakasih telah banyak memberikan kenangan dan cerita semasa menjadi mahasiswa. Terimakasih karena udah berjuang bersama untuk meraih impian kita. Semoga keakraban diantara kita tetap terjaga dan sukses untuk kedepannya.

Terakhir untuk Diri saya sendiri. Apresiasi sebesar – besarnya karna telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terimakasih karena terus berusaha dan tidak menyerah. Terimakasih sudah bertahan sampai sejauh ini.

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

Oleh : Dinda Arga Putri
NIM : 190110058

Pembimbing Utama : Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng
Pembimbing Pendamping : Said Jalalul Akbar, ST., MT
Penguji Utama : Prof. Dr. Ir. Wesli., MT
Penguji Pendamping : Syarifah Asria Nanda, ST., MT

ABSTRAK

Carbon Nanotube (CNT) adalah salah satu jenis dari karbon nanostruktur yang terdiri dari lembar grafit yang tergulung dan dapat diklasifikasikan menjadi *Single Walled Carbon Nanotube* (SWCNT) dan *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT). CNT tidak hanya dapat menghambat munculnya dan perkembangan retakan mikro pada material berbahan dasar semen, tetapi juga meningkatkan sifat mekanik dan daya tahan material berbahan dasar semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh penggunaan variasi substitusi CNT terhadap kuat tekan dan absorpsi pada mortar beton. Perencanaan campuran yang digunakan mengacu pada SNI 03-6825-2002. Pada penelitian ini persentase penggunaan CNT sebesar 0,01%, 0,02%, 0,03% dan 0,04% dari berat semen yang digunakan, penggunaan *superplasticizer* sebesar 1,5% dari berat semen, dan FAS yang digunakan sebesar 0,485. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan dan absorpsi. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus ukuran 5cm x 5cm x 5cm dan jumlah benda uji sebanyak 3 buah setiap variasi. Pengujian dilakukan saat mortar berumur 28 hari. Dari hasil penelitian, kuat tekan maksimum terdapat pada substitusi CNT 0,03% yaitu sebesar 27,87 MPa dengan persentase kenaikan 31,45% dan absorpsi minimum terdapat pada substitusi CNT 0,03% yaitu sebesar 8,250% dengan persentase penurunan 16,37%. Oleh karena itu, substitusi CNT yang optimal dapat meningkatkan sifat mekanik pada mortar beton. Selain itu substitusi CNT berpengaruh pada mortar karena dapat mengisi pori sehingga pori menjadi berkurang dan mortar menjadi lebih padat.

Kata kunci: *Mortar, Carbon Nanotube, Kuat Tekan, Absorpsi*

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBARAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian.....	3
1.7 Hasil Penelitian	4
BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN.....	5
2.1 Mortar.....	5
2.2 Bahan Penyusun Mortar	6
2.2.1 Semen portland.....	6
2.2.2 Agregat halus.....	6
2.2.3 Air.....	7
2.2.4 <i>Superplasticizer</i>	8
2.2.5 <i>Carbon nanotube (CNT)</i>	8
2.3 Sifat Fisis Material	11
2.3.1 Berat jenis semen	11
2.3.2 Berat jenis dan penyerapan agregat halus	12
2.3.3 Kadar air agregat halus.....	13

2.3.4	Berat isi/volume agregat halus	13
2.3.5	Analisis saringan agregat halus	14
2.4	<i>Slump Flow</i>	14
2.5	Perawatan Beton.....	15
2.6	Kuat Tekan	15
2.7	Absorpsi	16
BAB III	METODE PENELITIAN	17
3.1	Tahapan Pelaksanaan Penelitian/Perancangan.....	17
3.2	Lokasi Penelitian/Perancangan	18
3.3	Pengumpulan Data	18
3.3.1	Data primer	19
3.3.2	Data sekunder	20
3.4	Analisis dan Pengolahan Data.....	21
3.4.1	Pemeriksaan sifat fisis material.....	21
3.4.2	Pembuatan benda uji	24
3.5	Penelusuran Penelitian Terdahulu.....	33
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1	Hasil Penelitian	42
4.1.1	Pengujian berat jenis semen	42
4.1.2	Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus	42
4.1.3	Pengujian kadar air agregat halus.....	43
4.1.4	Pengujian berat volume agregat halus.....	43
4.1.5	Pengujian analisa saringan dan modulus halus butir.....	43
4.1.6	Pengujian kadar organik agregat halus.....	44
4.1.7	Proporsi campuran mortar beton	45
4.1.8	Pengujian slump	45
4.1.9	Pengujian kuat tekan mortar.....	45
4.1.10	Pengujian absorpsi mortar	46
4.2	Pembahasan.....	46
4.2.1	Pengujian berat jenis semen	47
4.2.2	Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus..	47
4.2.3	Pengujian kadar air agregat halus.....	47

4.2.4	Pengujian berat volume agregat halus.....	48
4.2.5	Pengujian analisis saringan dan modulus halus	48
4.2.6	Pengujian kadar organik agregat halus.....	48
4.2.7	Proporsi campuran mortar beton	49
4.2.8	Pengujian <i>slump flow</i>	49
4.2.9	Pengujian kuat tekan	50
4.2.10	Pengujian absorpsi.....	51
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	54
	DAFTAR PUSTAKA	55
	LAMPIRAN A PERHITUNGAN.....	58
	LAMPIRAN B TABEL	70
	LAMPIRAN C FOTO KEGIATAN.....	72
	LAMPIRAN D BIODATA MAHASISWA	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persentase lolos agregat pada ayakan.....	7
Tabel 3.1 Data primer.....	19
Tabel 3.2 Data sekunder.....	20
Tabel 3.3 Jumlah dan variasi benda uji.....	31
Tabel 3.4 Penelitian terdahulu.....	38
Tabel 4.1 Berat jenis semen.....	42
Tabel 4.2 Berat jenis dan penyerapan air agregat halus.....	42
Tabel 4.3 Kadar air agregat halus.....	43
Tabel 4. 4 Berat volume agregat halus.....	43
Tabel 4.5 Proporsi Bahan Campuran Mortar untuk Tiga Buah Benda Uji.....	45
Tabel 4.6 <i>Slump Flow Test</i>	45
Tabel 4.7 Hasil pengujian kuat tekan mortar.....	46
Tabel 4.8 Hasil pengujian absorpsi.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur <i>Carbon Nanotube</i>	8
Gambar 2.2 Beberapa Bentuk Struktur SWCNT (a) Struktur Armchair	10
Gambar 2.3 Bentuk Struktur MWCNT	11
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	17
Gambar 3.2 Semen Portland tipe 1	25
Gambar 3.3 Pasir sungai	25
Gambar 3.5 <i>Superplasticizer</i>	26
Gambar 3.6 Dispersi MWCNT	26
Gambar 3.7 Timbangan digital.....	27
Gambar 3.8 Alat penggetar dan saringan	27
Gambar 3.9 <i>Magnetic stirrer hotplate</i>	28
Gambar 3.10 Oven	28
Gambar 3.11 Mesin <i>mixer</i>	29
Gambar 3.12 <i>Flow mold</i>	29
Gambar 3.13 Cetakan kubus 5 cm × 5 cm × 5 cm	30
Gambar 3.14 <i>Compression testing machine</i>	30
Gambar 4.1 Analisis saringan agregat halus	44
Gambar 4.2 Kadar organik agregat halus.....	44
Gambar 4.3 Persentase slump flow	49
Gambar 4.4 Persentase kuat tekan mortar beton dengan substitusi CNT	50
Gambar 4.5 Persentase absorpsi mortar beton dengan substitusi CNT	51

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

A	= Luas permukaan benda uji
A _b	= Absorpsi atau penyerapan air
ASTM	= <i>American Standard Testing And Material</i> adalah suatu organisasi global yang mengembangkan sebuah standarisasi teknik untuk produk, material, sistem, dan jasa.
Bj. APP	= Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.
Bj. OD	= Berat jenis kering oven adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan air agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
Bj. SSD	= Berat jenis jenuh kering permukaan adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.
Bekisting	= Cetakan mortar/beton sesuai dengan ukuran.
CNT	= <i>Carbon Nanotube</i> adalah tabung yang terbuat dari karbon dengan kisaran dalam nanometer.
CSH	= <i>Calcium Silicate Hydrate</i> adalah produk utama hidrasi semen Portland dan terutama bertanggung jawab atas kekuatan bahan berbasis semen.
F'c	= Mutu Beton
MHB	= Modulus Halus Butir adalah indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir – butir agregat.
<i>Mix Design</i>	= Perencanaan dan perhitungan campuran mortar beton
MPa	= Megapascal
m _b	= Massa basah dari benda uji

m_k	= Massa kering dari benda uji
MWCNT	= <i>Multi Walled Carbon Nanotube</i>
Pmaks	= Maksimum pembebanan
<i>Quartering</i>	= Membagi menjadi empat bagian
<i>Slump test</i>	= Pengujian untuk mengetahui kelecakan mortar beton
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SP	= <i>Superplasticizer</i> adalah bahan tambah untuk memudahkan pengerjaannya.
SWCNT	= <i>Single Walled Carbon Nanotube</i>
<i>Workability</i>	= Kemudahan pengerjaan material
γ_d	= Berat volume air
$^{\circ}\text{C}$	= Derajat celcius, menyatakan suhu

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi merupakan rekayasa ukuran materi pada skala sepermiliar meter (10^{-9} m). Penambahan sejumlah kecil bahan nano dapat meningkatkan sifat mekanik material (seperti kuat tekan mortar beton) secara signifikan (Konsta-Gdoutos et al., 2010). Kebutuhan mortar beton sebagai bahan bangunan mengalami kenaikan sejalan dengan meningkatnya kebutuhan pembangunan infrastruktur. Meskipun teknologi mortar telah terbukti kemampuannya, namun karena tuntutan konstruksi terhadap kekuatan, kelenturan dan keawetan maka teknologi ini dapat ditingkatkan efektivitas kinerjanya dengan perbaikan mutu mortar dan penggabungan teknologi pembuatan berbagai komposit. Sesuai dengan perkembangan teknologi, beberapa penelitian terus memperbaiki sifat-sifat mortar antara lain dengan menambahkan material nano ke dalam adukan mortar beton untuk meningkatkan kinerja mortar beton (Mulyati et al., 2012). Salah satu bahan nano yang paling populer digunakan untuk meningkatkan kuat tekan pada campuran mortar beton adalah *Carbon Nanotubes* (CNT) (Anggoro and Saraswati, 2021).

CNT adalah salah satu jenis dari karbon nanostruktur yang terdiri dari lembar grafit yang tergulung dan dapat diklasifikasikan menjadi *Single Walled Carbon Nanotube* (SWCNT) dan *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT) tergantung pada metode persiapannya (Iijima, 1991; Kumar dkk., 2016). CNT memiliki kekuatan tarik 100 kali lebih besar dari baja. Selain itu, sebagai mikrofiber, CNT tidak hanya dapat menghambat munculnya dan perkembangan retakan mikro pada material berbahan dasar semen, tetapi juga meningkatkan sifat mekanik dan daya tahan material berbahan dasar semen. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penyusutan mortar semen yang mengeras dapat dihambat oleh CNT, dan ketahanan retak dapat ditingkatkan secara signifikan. Matriks mortar diperkuat oleh

CNT pada skala nanometer dengan meningkatkan kuantitas CSH dan menurunkan porositas mortar (Guo et al., 2022).

Reaksi hidrasi bahan semen dengan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH). CSH merupakan senyawa yang membentuk struktur dalam beton yang membuat beton kuat dan tahan lama. Reaksi CSH dapat memperkuat beton dengan meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton. Selain itu, reaksi CSH juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan yang korosif seperti air, oksigen, dan cahaya matahari. Namun, reaksi CSH dapat menyebabkan peningkatan volume beton yang dapat menyebabkan retak dan kerusakan pada beton. Semakin padat mortar beton atau semakin kecil pori – pori yang ada, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Senff et al., 2012).

Berdasarkan uraian di atas, mortar beton dengan substitusi CNT dapat membuat kuat tekan meningkat dan pori pada mortar dapat berkurang. Oleh karena itu, dibutuhkan material nano seperti CNT yang mampu mengatur kemampuan struktur mortar pada skala nano untuk mengetahui besarnya pengaruh kuat tekan dan absorpsi pada mortar beton jika disubstitusikan dengan CNT.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan masalah tersebut sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh penggunaan variasi substitusi CNT terhadap kuat tekan pada mortar beton.
2. Seberapa besar pengaruh penggunaan variasi substitusi CNT terhadap absorpsi pada mortar beton.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah dapat dirumuskan tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besarnya pengaruh penggunaan variasi substitusi CNT terhadap kuat tekan pada mortar beton.

2. Untuk mengetahui besarnya pengaruh penggunaan variasi substitusi CNT terhadap absorpsi pada mortar beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberikan pengetahuan tentang substitusi CNT dalam mortar beton terhadap kuat tekan dan absorpsi pada mortar beton.
2. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi bahan referensi dan pertimbangan untuk tahap penelitian selanjutnya. Baik penggunaan untuk pelaksanaan di lapangan dan juga untuk penelitian lebih lanjut.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

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

1. MWCNT diperoleh dari Maxlab Tangerang Jakarta
2. Jenis material yang digunakan dalam bentuk dispersi
3. Air dan dispersi MWCNT dicampurkan menggunakan *magnetic stirrer*
4. Semen yang digunakan adalah Semen Padang tipe I
5. Pasir yang digunakan berasal dari sungai Juli Bireuen
6. Target rencana kuat tekan 20 MPa

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 mortar dan absorpsi. Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian. Setelah itu melakukan pemeriksaan material sebelum melakukan penelitian. Tahapan selanjutnya adalah uji sifat fisis agregat dan semen, seperti pengujian berat jenis dan penyerapan, pengujian kadar air agregat halus, pengujian berat volume/berat isi, dan pengujian analisis saringan agregat halus. Selanjutnya membuat rencana

campuran (*Mix design*) sesuai SNI 03-6825-2002. Kemudian membuat campuran mortar dan melakukan pengujian slump, jika tidak memenuhi maka membuat ulang *mix design* dan jika *slump* memenuhi maka lanjut dengan mencampurkan variasi dan membuat benda uji. Benda uji didiamkan selama 1 hari. Setelah itu benda uji dibuka dari bekisting dan dilakukan perawatan beton dengan cara merendam benda uji selama 28 hari. Kemudian benda uji dikeluarkan dari perendaman dan dilakukan pengujian kuat tekan dan absorpsi.

1.7 Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian mortar beton yang disubstitusikan dengan CNT sebesar 0,01%; 0,02%; 0,03%; 0,04% berturut-turut memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 22,93 MPa, 26,40 MPa, 27,87 MPa, dan 24,27 MPa. Persentase substitusi CNT yang memiliki nilai kuat tekan optimum adalah substitusi sebesar 0,03%. Hasil absorpsi mortar berturut-turut memiliki nilai rata-rata sebesar 8,835%; 8,661%; 8,250% dan 8,573%. Persentase substitusi CNT yang memiliki nilai absorpsi minimum adalah substitusi sebesar 0,03%. Dari hasil pengujian maka diketahui bahwa substitusi CNT sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan absorpsi mortar yang membuat kuat tekan mortar meningkat dan absorpsi mortar menurun. Hal ini disebabkan karena penggunaan CNT dapat mengisi kekosongan pada mortar, sehingga mortar menjadi lebih padat dan pori – pori pada mortar berkurang. Pori – pori yang lebih banyak mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap kuat tekan dan absorpsi mortar.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Mortar

Mortar adalah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat dan air. Bahan perekat berupa tanah liat, kapur, maupun semen. Bila tanah yang dipakai sebagai bahan perekat disebut mortar lumpur (*mud mortar*), bila kapur yang dipakai sebagai bahan perekat disebut mortar kapur, dan bila semen yang dipakai sebagai bahan perekat maka disebut mortar semen. Pasir berfungsi sebagai pengisi (bahan yang direkat).

Fungsi utama dari mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian – bagian penyusun suatu konstruksi. Kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halusny. Mortar mempunyai nilai penyusun yang relatif kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya – gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika terjadi penyerapan air pada mortar dengan cepat maupun dengan jumlah yang besar, maka mortar akan mengeras dan akan kehilangan ikatan adhesinya.

Membuat mortar sebenarnya tidaklah sederhana hanya sekedar mencampurkan bahan-bahan dasarnya untuk membentuk campuran yang plastis sebagaimana sering terlihat pada pembuatan bangunan sederhana. Tetapi jika ingin membuat campuran mortar yang baik, dalam arti memenuhi persyaratan yang lebih ketat karena tuntutan yang lebih tinggi, maka harus diperhitungkan dengan seksama cara-cara memperoleh adukan mortar segar yang baik sehingga menghasilkan konstruksi yang kuat pula. Campuran mortar segar yang baik adalah campuran segar yang dapat diaduk, dapat diangkat, dapat dituang, dapat dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi pemisahan pasir dari adukan maupun pemisahan air dan semen dari adukan. Sebuah campuran mortar dapat dikatakan baik bila campuran tersebut membentuk Beton atau konstruksi keras yang kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus, dan kembang susutnya kecil (Wenda et al., 2018).

2.2 Bahan Penyusun Mortar

Bahan campuran mortar biasanya terdiri dari semen, agregat halus (pasir), dan air. Pada mortar dengan campuran carbon nanotube bahan penyusunnya yaitu berupa semen, agregat halus, air, *superplasticizer* dan *carbon nanotube*.

2.2.1 Semen portland

Semen portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terbuat dari batu kapur (CaCO_3) yang terdiri dari silikat – silikat kalsium, dengan *gips* sebagai bahan tambahan. Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir – butir agregat agar terjadi suatu masa yang kompak atau padat, selain itu juga untuk mengisi rongga diantara butiran – butiran agregat (Wenda et al., 2018).

Berdasarkan SNI 2049-2015, semen portland dibagi menjadi beberapa jenis dan penggunaannya:

- A. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- B. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- C. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- D. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- E. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.2.2 Agregat halus

Berdasarkan SNI 02-6820-2002, agregat halus adalah agregat dengan besar butiran maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil olahan. Agregat halus merupakan agregat yang besarnya tidak lebih dari 5 mm, sehingga pasir dapat berupa pasir alami, hasil pecahan dari batuan secara alami, atau berupa pasir buatan

yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu yang biasa disebut abu batu (Neville, 1997).

Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut:

- A. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- B. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur karena faktor cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat.
- C. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpurnya melebihi 5% maka pasir harus dicuci.

Agregat halus harus mempunyai susunan besar butiran yang beraneka ragam besarnya sesuai Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persentase lolos agregat pada ayakan

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
9,5	100
4,75	95 – 100
2,36	80 – 100
1,18	50 – 85
0,60	25 – 60
0,30	10 – 30
0,15	2 – 10

Sumber: ASTM C33

2.2.3 Air

Air untuk pembuatan mortar minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam atau bahan-bahan organik lainnya yang dapat merusak beton atau tulangnya (SNI 03-2847-2002).

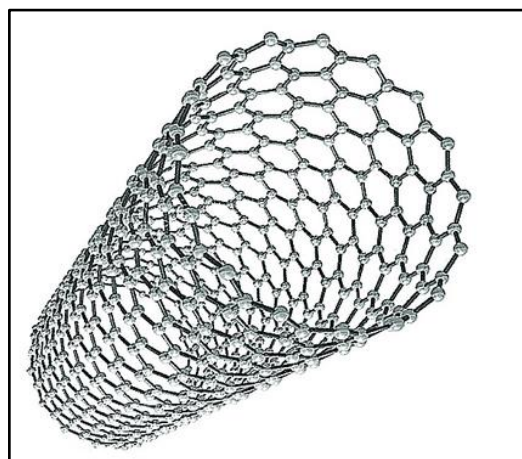
Menurut Tjokrodimulyo (1996), penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan yaitu, tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr, tidak mengandung garam - garaman yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr, tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr, tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

2.2.4 *Superplasticizer*

Superplasticizer merupakan bahan tambah pencampur beton (*admixtures*) yang ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*) untuk memperbaiki kinerja kekuatannya. Prinsip mekanisme kerja dari *superplasticizer* secara umum yaitu partikel semen dalam air cenderung untuk berkolesi satu sama lainnya dan partikel semen akan menggumpal (*flokulasi*). Penambahan *superplasticizer* mengakibatkan partikel semen ini akan saling melepaskan diri dan terdispersi. Fenomena dispersi partikel semen dengan penambahan *superplasticizer* dapat menurunkan viskositas pasta semen sehingga pasta semen lebih fluid/alir (Dzikri and Firmansyah, 2018).

2.2.5 *Carbon nanotube (CNT)*

CNT adalah salah satu struktur karbon yang memiliki bentuk seperti silinder dengan ukuran diameter dalam skala nanometer. Keunikan dalam struktur ini terdapat pada kekuatannya yang tinggi, sifat keelektrikan yang baik, dan juga kemampuan dalam penghantaran panas. Ada berbagai varian dari CNT yang masing-masing memiliki sifat yang unik. Keunggulan dari CNT membuatnya menjadi harapan baru dalam perkembangan teknologi nano. Struktur CNT dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur *Carbon nanotube*
Sumber: (Goldmann et al., 2021)

Struktur CNT yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabil dibandingkan struktur karbon lainnya. Kelebihannya ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan struktur bangunan yang kuat, struktur kendaraan yang aman, dan lainnya.

Menurut Ahmed et al. (2019), CNT terutama terdiri dari lembaran *graphene* yang digulung sebagai tabung silinder yang tunggal atau ganda tergantung pada jumlah lapisan internal. Struktur lembaran *graphene* CNT memiliki karakteristik luar biasa yang memungkinkannya dianggap penting untuk mengembangkan komposit semen. CNT memiliki banyak sifat termal, mekanik, dan fisik yang diinginkan yang membuatnya mendekati bahan penguat.

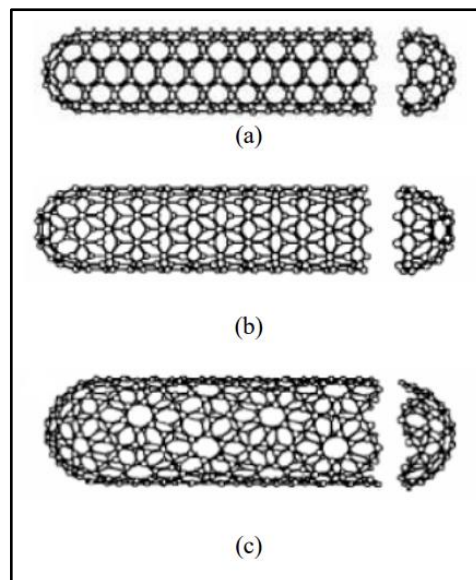
Komposit semen yang mengandung CNT menunjukkan respon yang sangat baik ketika mengalami *stress*, sedangkan beberapa nanopartikel lainnya berubah sehubungan dengan tingkat *stress*. Menambahkan CNT ke dalam komposit semen meningkatkan kekuatan tekan serta kekuatan lentur dibandingkan dengan kekuatan tekan dan lentur normal yang diperoleh dari komposit semen biasa. Komposit CNTs-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.

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

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

SWCNT memiliki dimensi dari 0,4 nm hingga 3 nm, sedangkan untuk panjangnya, dimensi dari 1 hingga 50 mikrometer (Vijayabhaskar and Shanmugasundaram, 2017). Struktur SWCNT dapat dideskripsikan menyerupai sebuah lembaran panjang struktur grafit (*graphene*) yang tergulung. Umumnya SWCNT terdiri dari dua bagian dengan properti fisik dan kimia yang berbeda. Bagian pertama adalah bagian sisi dan bagian kedua adalah bagian kepala. SWCNT memiliki beberapa bentuk struktur berbeda yang dapat dilihat bilamana struktur tube dibuka.

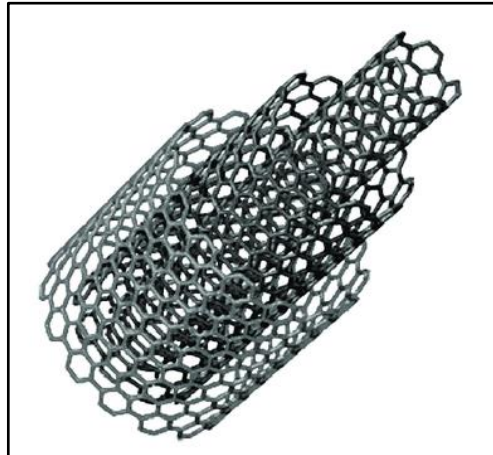
SWCNT memiliki sifat keelektrikan yang tidak dimiliki oleh struktur MWCNT. Hal ini memungkinkan pengembangan struktur SWCNT menjadi *nanowire* karena SWCNT dapat menjadi konduktor yang baik. Selain itu SWCNT telah dikembangkan sebagai pengganti dari *Field Effect Transistors* (FET) dalam skala nano. Hal ini karena sifat SWCNT yang dapat bersifat sebagai n-FET juga p-FET ketika bereaksi terhadap oksigen. Karena dapat memiliki sifat sebagai n-FET dan p-FET maka SWCNT dapat difungsikan sebagai *logic gate*. Di bawah ini merupakan beberapa bentuk struktur SWCNT pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Beberapa Bentuk Struktur SWCNT (a) Struktur Armchair
(b) Struktur Zigzag (c) Struktur Chiral
Sumber: (Burtscher, 2015)

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

MWCNT memiliki dimensi dari 1,4 nm hingga 100 nm, sedangkan panjangnya berkisar dari 0,1 hingga 100 mikrometer (Vijayabhaskar and Shanmugasundaram, 2017). MWCNT dibentuk dari beberapa lapisan struktur grafit yang digulung membentuk silinder. Atau dapat juga dikatakan MWCNT tersusun oleh beberapa SWCNT dengan berbeda diameter. MWCNT jelas memiliki sifat yang berbeda dengan SWCNT. Berikut adalah bentuk struktur MWCNT pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk Struktur MWCNT

Sumber: (Goldmann et al., 2021)

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

2.3 Sifat Fisis Material

Sifat fisis material digunakan agar mempermudah untuk membuat campuran mortar beton, selain itu pengujian sifat fisis material ini untuk mengetahui dapat digunakan atau tidak material.

2.3.1 Berat jenis semen

Berdasarkan SNI 15-2531-1991 berat jenis semen adalah perbandingan antara berat volume kering semen pada suhu kamar dengan berat volume air suling pada suhu $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Berat jenis semen berkisar antara 3,00 - 3,20. Berat jenis semen dapat dihitung dengan Persamaan 2.1.

$$BJ \text{ semen} = \frac{\text{Berat semen}}{(V2 - V1)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.1)$$

keterangan:

V1 = Pembacaan skala awal (cm)

V2 = Pembacaan skala akhir (cm)

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

2.3.2 Berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan bertujuan untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat halus. Berdasarkan SNI 1970-2008 perhitungan berat jenis dan penyerapan air dapat dihitung dengan Persamaan 2.2, 2.3, 2.4, dan 2.5.

$$BJ (OD) = \frac{A}{(B + S - C)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$BJ (SSD) = \frac{S}{(B + S - C)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$BJ (APP) = \frac{A}{(B + A - C)\gamma_d} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$Wa = \frac{(S - A)}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

keterangan:

BJ (OD) = Berat jenis curah, kering oven (*bulk specific OD*)

BJ (SSD) = Berat jenis curah, jenuh kering permukaan (*bulk specific SSD*)

BJ (APP) = Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Wa = Penyerapan air (*water absorption*)

A = Berat benda uji kering oven (gr).

B = Berat piknometer berisi air (gr).

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gr).

S = Berat benda uji awal/jenuh kering permukaan (gr).

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

2.3.3 Kadar air agregat halus

Berdasarkan SNI 03-1971-1990 kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. Kadar air agregat halus dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$\text{Kadar air agregat (\%)} = \frac{B - C}{C - A} \times 100 \dots\dots\dots (2.6)$$

keterangan:

A = Berat cawan (gr)

B = Berat benda uji awal + cawan (gr)

C = Berat benda uji kering oven + cawan (gr)

2.3.4 Berat isi/volume agregat halus

Pengujian berat volume agregat halus dilakukan dalam dua keadaan yaitu dalam keadaan gembur dan dalam keadaan padat. Pengujian berat volume agregat dilakukan untuk mengetahui berat per satuan volume agregat yang ditempati oleh agregat tersebut. Pengujian berat volume agregat dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.7 dan 2.8.

$$D = (C - (A + B)) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Berat Volume} = \frac{E - B}{D} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

A = Berat plat kaca (gr)

B = Berat silinder (gr)

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

D = Berat air = volume air = volume silinder (cm³)

E = Berat silinder + benda uji (gr)

2.3.5 Analisis saringan agregat halus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ukuran dan gradasi butiran agregat halus dari yang terkecil sampai terbesar menggunakan saringan untuk keperluan perencanaan campuran (*mix design*) beton. Analisa saringan dilakukan dengan menggunakan saringan nomor 4 (4,75 mm), 8 (2,36 mm), 16 (1,18 mm), 30 (0,600 mm), 50 (0,300 mm), 100 (0,150 mm), 200 (0,075 mm).

$$\text{Persentase tertahan} = \frac{\text{Berat tertahan}}{\text{Jumlah berat tertahan}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Persen lolos kumulatif} = \frac{100 - \text{persentase tertahan}}{100} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\text{MHB} = \frac{\text{Total tertinggi kumulatif}}{100} \dots\dots\dots (2.11)$$

keterangan:

MHB = modulus halus butir

2.4 Slump Flow

Uji *slump* merupakan salah satu cara untuk mengukur kelecakan beton segar, yang dipakai pula untuk memperkirakan tingkat kemudahan dalam pengerjaannya. Uji kelecakan mortar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai faktor air semen (FAS) dari campuran mortar. Pengambilan nilai *slump* dilakukan untuk masing – masing campuran baik pada mortar beton standar maupun mortar beton yang menggunakan *additive* dan bahan penambah (*admixture*).

Berdasarkan SNI 03-6825-2002 pengujian *slump* dilakukan dengan meletakkan cincin leleh di atas meja leleh, lalu diisi dengan mortar sampai penuh. Pengisian dilakukan dalam dua lapisan adalah 1/2 dari tinggi kerucut. Masing - masing lapisan harus dipadatkan 20 kali dengan alat pemadat. Setelah penuh sampai permukaan atasnya diratakan dengan menggunakan sendok semen dan bersihkan mortar yang menempel di bagian cincin leleh. Kemudian angkatlah cincin leleh perlahan – lahan, sehingga di atas meja leleh terbentuk mortar berbentuk kerucut terpancung. Getarkan meja leleh sebanyak 25 kali selama 15 detik, dengan tinggi

jatuh $\frac{1}{2}$ in (12,7 mm). Ukurlah diameter mortar diatas meja leleh minimal pada 4 tempat yang berlainan, lain hitung diameter rata – rata (d) mortar tersebut.

2.5 Perawatan Beton

Perawatan beton (*curing*) adalah suatu usaha untuk mencegah kehilangan air pada beton segar dan membuat kondisi suhu di dalam beton berada pada suhu tertentu segera setelah beton dicor sehingga sifat-sifat beton yang diinginkan dapat berkembang dengan baik. Perawatan beton sangat berpengaruh terhadap sifat – sifat beton keras seperti keawetan, kekuatan, sifat rapat air, ketahanan abrasi, stabilitas volume dan ketahanan terhadap pembekuan.

Agar perawatan berlangsung dengan baik, perlu diperhatikan dua hal yaitu, mencegah kehilangan kelembaban (air) dalam adukan beton dan memelihara temperatur untuk suatu jangka waktu tertentu. Dengan melaksanakan perawatan beton yang seharusnya, akan didapat beton yang lebih kuat, lebih padat, lebih awet dan lebih tahan abrasi dibandingkan beton yang dibuat dengan tanpa perawatan beton (Nizal, 2011).

2.6 Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan gambaran mutu beton. Berdasarkan SNI 03-1974-1990 yang dimaksudkan dengan kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Kuat tekan mortar sering digunakan sebagai kriteria dasar pembagian jenis mortar, karena pengukuran kuat tekan mortar lebih mudah dan biasanya dapat langsung dihubungkan dengan kemampuan mortar lainnya seperti kuat tarik dan daya serap mortar (ASTM C 270). Kuat tekan mortar dilakukan dengan benda uji mortar dengan dimensi 5cm x 5cm x 5cm.

Besar nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.12.

$$f'c = \frac{P maks}{A} \dots\dots\dots (2.12)$$

keterangan:

$f'c$ = kuat tekan yang didapat dari benda uji (MPa)

P_{maks} = maksimum pembebanan (N)

A = luas permukaan (mm^2)

2.7 Absorpsi

Absorpsi atau daya serap air adalah persentase berat air yang mampu diserap oleh suatu material jika direndam di dalam air. Penyebab semakin meningkatnya daya serap air adalah semakin meningkatnya porositas mortar akibat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Hal ini menyebabkan semakin berkurangnya kekuatan mortar (Syarif et al., 2022). Uji absorpsi mortar dilakukan dengan membuat benda uji mortar berbentuk kubus dengan dimensi 5cm x 5cm x 5cm.

Besar nilai penyerapan air dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.13.

$$A_b = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

keterangan:

A_b = absorpsi (%)

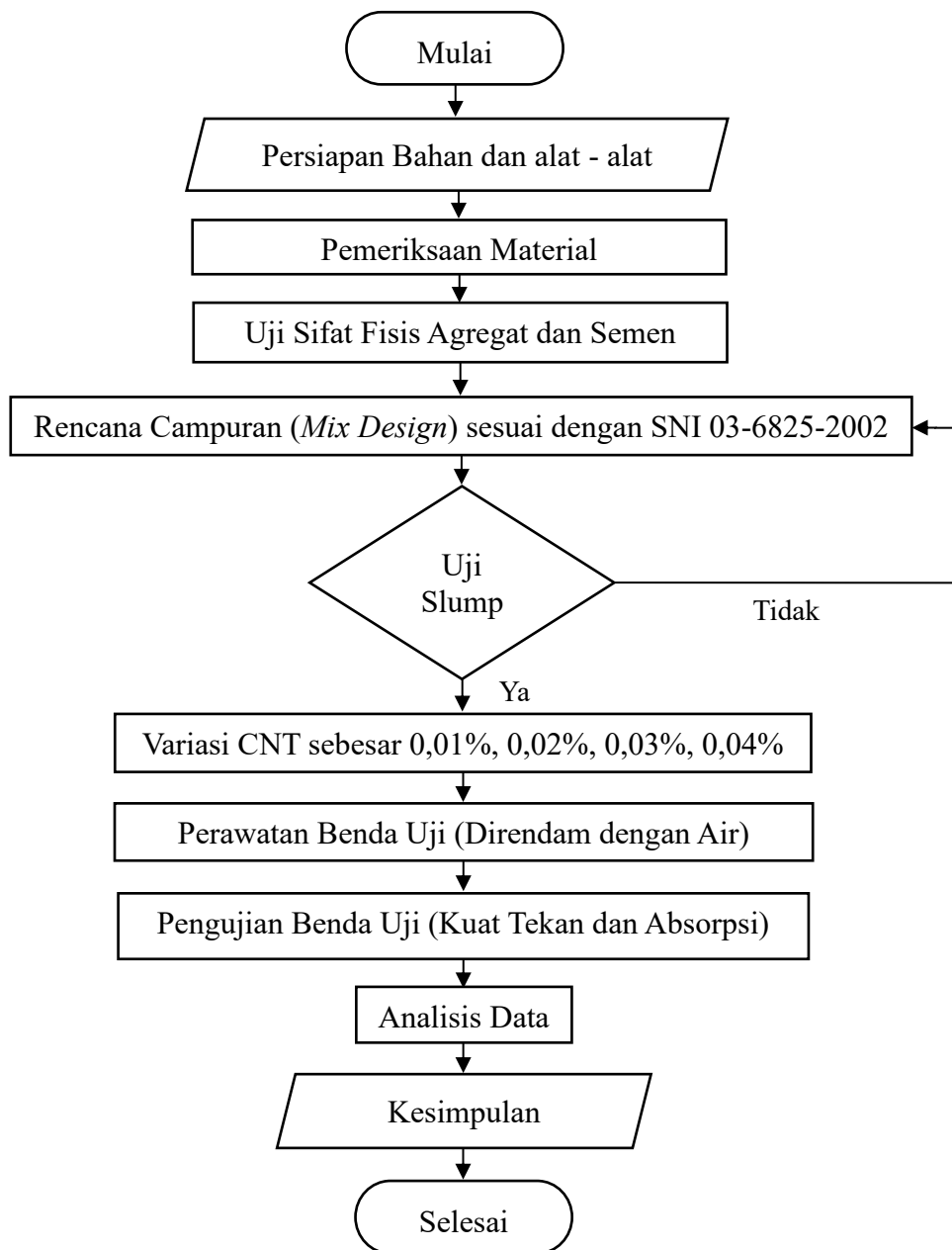
m_b = massa basah dari benda uji (gr)

m_k = massa kering dari benda uji (gr)

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian/Perancangan

Tahapan – tahapan dalam pelaksanaan penelitian dapat disusun berdasarkan bagan alir. Adapun bagan alir penelitian dapat dilihat seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan dimulai dari tahap awal hingga tahap akhir dimana meliputi tahap persiapan alat dan bahan, uji sifat fisis agregat dan semen, membuat *mix design*, uji *slump*, perawatan benda uji, pengujian benda uji dan analisis data. Kemudian dari hasil perhitungan analisis data dapat diperoleh kesimpulan dan saran.

Tahapan persiapan dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian. Setelah itu melakukan pemeriksaan material sebelum melakukan penelitian. Tahapan selanjutnya adalah uji sifat fisis agregat dan semen, seperti pengujian berat jenis dan penyerapan, pengujian kadar air agregat halus, pengujian berat volume/berat isi, dan pengujian analisis saringan agregat halus. Selanjutnya membuat rencana campuran (*mix design*) sesuai SNI 03-6825-2002. Kemudian membuat campuran mortar dan melakukan pengujian *slump*, jika tidak memenuhi maka membuat ulang *mix design* dan jika *slump* memenuhi maka lanjut dengan mencampurkan variasi dan membuat benda uji. Benda uji didiamkan selama 1 hari. Setelah itu benda uji dibuka dari bekisting dan dilakukan perawatan beton dengan cara merendam benda uji selama 28 hari. Kemudian benda uji dikeluarkan dari perendaman dan dilakukan pengujian kuat tekan dan absorpsi.

3.2 Lokasi Penelitian/Perancangan

Penelitian dilakukan di Laboratorium Sains dan Teknologi Konstruksi, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen di laboratorium berupa pengujian mortar dengan bahan substitusi CNT. Peneliti dapat menghasilkan data – data yang diinginkan dan mendapatkan hasil kuat tekan dan absorpsi dari laboratorium.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian ini yaitu:

3.3.1 Data primer

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

Tabel 3.1 Data primer

No	Data	Cara Perolehan Data	Kegunaan
1	Sifat fisis		
	Berat semen	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat volume air	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Skala awal botol <i>le chatelier</i>	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Skala akhir <i>le chatelier</i>	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat agregat halus	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat agregat halus kering oven	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat piknometer dan plat kaca berisi air	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat piknometer dan plat kaca dengan benda uji dan air	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat cawan	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat cawan dan agregat halus	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat cawan dan agregat halus kering oven	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat silinder	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Volume silinder	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat silinder dengan agregat halus	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material

	Berat tertahan	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
2	Sifat mekanis		
	Pembebanan maksimum	Pemeriksaan laboratorium	Memperoleh nilai kuat tekan
	Luas penampang mortar	Pemeriksaan laboratorium	Memperoleh nilai kuat tekan
	Massa kering benda uji	Pemeriksaan laboratorium	Memperoleh nilai absorpsi
	Massa basah benda uji	Pemeriksaan laboratorium	Memperoleh nilai absorpsi

3.3.2 Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh berdasarkan buku serta jurnal – jurnal yang berhubungan dengan mortar, referensi pembuatan mortar beton berdasarkan pada SNI dan ASTM (*American Society For Testing And Materials*). Data – data sekunder dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data sekunder

No	Data	Sumber	Cara Perolehan Data	Kegunaan
1	Batas gradasi agregat halus	SNI 03-1968-1990	Studi literatur	Mengetahui zona pada pengujian analisis saringan
2	Spesifikasi berat jenis semen	SNI 15-2531-1991	Studi literatur	Mengetahui interval berat jenis semen
3	Spesifikasi berat jenis dan penyerapan air agregat halus	SNI 1970:2008	Studi literatur	Mengetahui interval berat jenis dan penyerapan air agregat halus
4	Spesifikasi berat volume agregat halus	SNI 03-4804-1998	Studi literatur	Mengetahui interval berat volume agregat halus
5	Spesifikasi kadar organik agregat halus	SNI 03-2816-1992	Studi literatur	Mengetahui golongan kadar organik pada agregat halus

3.4 Analisis dan Pengolahan Data

Analisis dan pengolahan data dalam perencanaan campuran beton pada penelitian ini terdiri dari dua prosedur yakni pertama, pemeriksaan sifat fisis dan yang kedua, pembuatan benda uji.

3.4.1 Pemeriksaan sifat fisis material

Pemeriksaan sifat fisis material ini dilakukan sebelum proses pembuatan beton. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik dari bahan-bahan yang nantinya menjadi penyusun mortar beton.

A. Pemeriksaan berat jenis semen

Pengujian ini berdasarkan SNI 15-2531-1991, tentang metode pengujian berat jenis semen portland. Alat dan bahan yang digunakan adalah botol *Le Chatelier*, timbangan, corong kaca, pemberat botol, termometer, alkohol, pipet, spatula, landasan karet, kawat, sendok, tisu, kain lap dan semen portland tipe I, serta minyak tanah bebas air. Pengujian dilakukan sebanyak 3 sampel. Langkah pertama, keringkan botol *Le Chatelier* dengan alkohol dan isi botol dengan minyak tanah sampai pada skala 0-1 cm. Langkah kedua, rendam botol *Le Chatelier* yang berisi minyak ke dalam wadah berisi air, biarkan botol terendam hingga suhu botol tetap dan suhu cairan dalam botol sama dengan suhu air. Langkah ketiga, Catat suhu air, pembacaan suhu air yang di dekat dinding botol dan yang berada lebih jauh dari dinding botol harus sama. Langkah keempat, setelah suhu cairan dalam botol dan air sama, baca tinggi permukaan cairan terhadap skala awal pada botol (V1). Langkah kelima, siapkan semen masing-masing dengan berat 64 gram dan masukkan ke dalam botol dengan menggunakan corong kaca, usahakan tidak ada semen yang menempel pada dinding botol. Langkah keenam, jika semen telah terisi secara keseluruhan ke dalam botol, tutup botol tersebut. Langkah ketujuh, letakkan botol di atas landasan karet. Langkah kedelapan, miringkan botol ke kanan dan ke kiri sambil menggelindingkannya sampai gelembung udara yang ada di dalam minyak tanah hilang. Langkah kesembilan, rendam kembali botol ke dalam air sampai suhunya sama dan catat suhunya, selisih dari suhu T1 dan T2 tidak lebih dari 0,2°C, baca

skala botol (V2). Langkah kesepuluh, untuk mendapatkan berat jenis semen, hitunglah dengan rumus yang diperlihatkan pada Persamaan 2.1.

B. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat

Pengujian ini berdasarkan SNI 1970-2008, tentang cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Alat dan bahan yang digunakan berupa timbangan, piknometer, cetakan, batang penumbuk, oven, alat pengukur temperatur, pompa vakum, saringan dengan ukuran bukaan 4,75 mm (no.4), talam, bejana tempat air, plat kaca dan pasir. Langkah pertama, siapkan sampel dengan berat 2 kg, sampel diperoleh dari proses *quartering* pasir seberat 5 kg. Langkah kedua, keringkan benda uji di dalam oven dengan suhu $(110 + 5)^{\circ}\text{C}$. Langkah ketiga, rendam benda uji selama 24 jam. Langkah keempat, setelah 24 jam perendaman buang air, lalu benda uji diletakkan ke dalam talam dan di jemur di bawah terik matahari. Langkah kelima, setelah terlihat agak kering, lakukan pengujian kerucut untuk melihat keadaan kering permukaan. Langkah keenam, timbang benda uji seberat 500 gram sebanyak 3 sampel. Langkah ketujuh, masukkan benda uji ke dalam piknometer, tambahkan air sekitar 90% ke dalam piknometer. Langkah kedelapan, putar dan guncang piknometer agar gelembung yang terdapat di dalam menghilang. Langkah kesembilan, rendam piknometer ke dalam air dan suhu air diukur sebagai perhitungan terhadap suhu air standar $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Langkah kesepuluh, piknometer dipenuhi dengan air dan tutup dengan plat kaca, usahakan saat menutup plat kaca tidak terdapat gelembung udara di dalamnya. Langkah kesebelas, timbang piknometer + benda uji + air + plat kaca lalu catat. Langkah kedua belas, keluarkan benda uji dan kembali keringkan dengan oven. Langkah ketiga belas, setelah kering timbang benda uji lalu catat. Langkah keempat belas, isi piknometer kembali dengan air dan rendam pada bejana yang berisikan air dan suhu air diukur sebagai perhitungan terhadap suhu air standar $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Langkah kelima belas, tutup piknometer dengan plat kaca dan usahakan saat menutup plat kaca tidak terdapat gelembung udara di dalamnya. Langkah keenam belas, timbang piknometer + air + plat kaca lalu catat. Langkah ketujuh belas, untuk mendapatkan berat jenis dan penyerapan

air agregat halus, hitunglah dengan rumus yang diperlihatkan pada Persamaan 2.2, 2.3, 2.4, dan 2.5.

C. Pemeriksaan kadar air agregat halus

Pengujian ini berdasarkan SNI 03-1971-1990, tentang metode pengujian kadar air agregat. Alat dan bahan yang digunakan berupa, oven dengan suhu (110 ± 5) °C, talam logam, cawan dan pasir. Langkah pertama, timbang cawan lalu catat (A). Langkah kedua, masukkan benda uji ke dalam cawan dan timbang lalu catat (B). Langkah ketiga, masukkan cawan yang berisikan benda uji ke dalam oven selama 24 jam. Langkah keempat, keluarkan benda uji lalu dinginkan pada suhu kamar 1 – 3 jam. Langkah kelima, timbang kembali cawan yang berisikan benda uji lalu catat (C). Langkah keenam, untuk mendapatkan kadar air agregat, hitunglah dengan rumus yang diperlihatkan pada Persamaan 2.6.

D. Pemeriksaan berat volume agregat halus

Pengujian ini berdasarkan SNI 03-4804-1998, tentang metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat. Persiapkan alat dan bahan berupa timbangan, batang baja/alat penumbuk, mistar baja, alat penakar kapasitas (2,8 - 100 liter), sekop atau sendok, oven, plat kaca dan pasir. Langkah pertama, timbang plat kaca (A), timbang silinder (B), lalu penuhkan silinder dengan air tutup dengan plat kaca, saat menutup plat kaca usahakan tidak ada gelembung udara didalamnya, timbang silinder + air + plat kaca lalu catat (C). Langkah kedua, hitung volume silinder (D) dengan rumus yang diperlihatkan pada Persamaan 2.7. Langkah ketiga, keringkan material di dalam oven dengan suhu (110 ± 5) °C hingga berat tetap. Langkah keempat, keluarkan benda uji dari dalam oven lalu dinginkan, setelah itu baru ditimbang. Langkah kelima, mencari volume gembur agregat dengan cara meletakkan silinder pada permukaan yang datar, kemudian isi silinder dengan pasir sampai penuh, ratakan dengan mistar baja lalu timbang dan catat hasilnya (E). Langkah keenam, mencari volume padat agregat dengan cara meletakkan silinder pada permukaan yang datar, kemudian isi silinder dengan pasir sebanyak $\frac{1}{3}$ dari volume silinder, tusuk sebanyak 25 kali, isi lagi pasir sebanyak $\frac{2}{3}$ dari volume silinder, tusuk lagi sebanyak 25 kali, isi lagi pasir sampai penuh, tusuk lagi sebanyak 25 kali dan

ratakan dengan mistar baja lalu timbang dan catat hasilnya (E). Langkah ketujuh, untuk mendapatkan berat volume gembur/padat agregat, hitunglah dengan rumus yang diperlihatkan pada Persamaan 2.8.

E. Pemeriksaan analisa saringan agregat halus

Pengujian ini berdasarkan SNI 03-1968-1990, tentang metode pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar. Alat dan bahan yang digunakan berupa timbangan, satu set saringan: {no.4 (4,75 mm), no.8 (2,36 mm), no.16 (1,18 mm), no.30 (0,600 mm), no.50 (0,300 mm), no.100 (0,150 mm), no.200 (0,075 mm)}, oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, mesin pengguncang saringan, talam-talam, kuas, sikat kuningan, sendok, dan pasir. Langkah pertama, siapkan benda uji seberat 500 gram, benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat banyak (*quartering*). Langkah kedua, keringkan benda uji di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, sampai berat tetap. Langkah ketiga, keluarkan benda uji lalu dinginkan. Langkah keempat, timbang satu set saringan satu per satu dalam keadaan masih bersih lalu catat. Langkah kelima, susun satu set saringan dengan urutan saringan paling besar berada di atas. Langkah keenam, masukkan benda uji. Langkah ketujuh, guncang saringan dengan mesin pengguncang selama 15 menit. Langkah kedelapan, diamkan selama 5 menit setelah mesin pengguncang dimatikan. Langkah kesembilan timbang kembali satu set saringan satu per satu, lalu catat. Langkah kesepuluh, untuk mendapatkan persentase tertahan, persen lolos kumulatif, dan modulus halus butir, hitunglah dengan rumus yang diperlihatkan pada Persamaan 2.9, 2.10, dan 2.11.

3.4.2 Pembuatan benda uji

Sebelum dilakukannya pembuatan benda uji, ada beberapa tahapan yang harus diperhatikan dengan baik dan benar.

A. Material dan peralatan

Pembuatan benda uji memerlukan material – material penyusun dan juga beberapa peralatan sehingga dapatlah dilakukan pembuatan benda uji.

1. Material penyusun benda uji

Dalam penelitian ini, ada beberapa bahan material yang digunakan dalam pembuatan benda uji yaitu:

- Semen *Portland*

Semen *Portland* yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah semen *Portland* tipe 1. Adapun semen *Portland* tipe 1 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Semen *Portland* tipe 1

- Pasir

Pasir yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah pasir sungai. Pasir sungai yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pasir sungai

- Air

Air yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah air yang bersih, tidak berwarna, serta air yang tidak mengandung bahan-bahan kimia yang dapat menyebabkan kerusakan pada beton.

- *Superplasticizer (SP)*

Superplasticizer yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah merk SIKA VISCOCRETE 8045 P. Adapun *superplasticizer* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 *Superplasticizer*

- *Carbon Nanotube*

Carbon Nanotube yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah disperse MWCNT. Adapun *carbon nanotube* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Dispersi MWCNT

2. Peralatan pembuat benda uji

Dalam penelitian ini, ada beberapa peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji yaitu:

- Timbangan digital

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



Gambar 3.6 Timbangan digital

- Saringan dan alat penggetar

Saringan dan alat penggetar yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai alat pemisah agregat yang berukuran 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, dan 0,075 mm,. Adapun saringan dan alat penggetar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Alat penggetar dan saringan

- *Magnetic stirrer hotplate*

Magnetic stirrer hotplate yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai alat untuk memanaskan dan mengaduk air, dispersi CNT dan sp hingga homogen menggunakan perputaran medan magnet. Adapun *Magnetic stirrer hotplate* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.8 *Magnetic stirrer hotplate*

- Oven

Oven yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai alat mengeringkan kadar air yang terkandung di dalam agregat yang akan digunakan. Adapun oven seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.9 Oven

- Mesin *mixer*

Mesin *mixer* yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai alat pencampur serta pengaduk semua bahan material penyusun mortar. Adapun *mixer* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.10 Mesin *mixer*

- *Flow mold*

Flow mold yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai alat tes *workability* dan kelayakan pada mortar. Adapun *flow mold* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.11 *Flow mold*

- Cetakan kubus $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$

Cetakan kubus yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai bekisting penempatan mortar setelah selesai diaduk sehingga dapat dilakukan pengujian kuat tekan. Adapun cetakan kubus seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.12 Cetakan kubus $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$

- Mesin pengujian kuat tekan

Mesin pengujian yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai alat untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan pada mortar yang telah direncanakan. Adapun mesin pengujian kuat tekan yaitu *Compression testing machine* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.13 *Compression testing machine*

B. Perencanaan campuran benda uji (*mix design*)

Perencanaan campuran yang digunakan mengacu pada SNI 03-6825-2002. Digunakan proporsi bahan 1:2,75 untuk semen dan pasir, sedangkan untuk rasio air semen atau dikenal dengan Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,485%. Sp yang digunakan sebesar 1,5% dari berat semen. Untuk CNT menggunakan variasi 0,01%, 0,02%, 0,03%, 0,04% dari berat semen.

C. Benda uji

Benda uji yang nantinya akan dibuat setelah campuran beton (*mix design*) selesai direncanakan adalah sebanyak 18 sampel. Sebelum membuat benda uji, Langkah yang pertama kali yang harus dilakukan adalah mempersiapkan alat dan bahan. Untuk alat yaitu, tang, kawat, oli, kuas, palu karet, alat pemadat, *mixer*, bekisting dengan ukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm, meteran atau mistar. Untuk bahan yaitu, semen portland tipe I, pasir, dispersi CNT, *superplasticizer*, dan juga air. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari dengan berbagai variasi. Adapun variasi mortar seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Jumlah dan variasi benda uji

No.	Benda Uji	Carbon nanotube	Jumlah Benda Uji
1	MNSP	0%	3
2	MCNT-1	0,01%	3
2	MCNT-2	0,02%	3
3	MCNT-3	0,03%	3
4	MCNT-4	0,04%	3
Jumlah Total			15

keterangan:

MNSP = Mortar Normal + SP

MCNT = Mortar + CNT

D. Pengujian *slump*

Berdasarkan (SNI 03-6825-2002), dalam melakukan *slump test* itu harus melalui beberapa tahapan yaitu langkah pertama, letakkan cincin leleh di atas meja leleh, lalu isi dengan mortar sampai penuh, pengisian dilakukan dalam 2 lapis, setiap lapis dipadatkan 20 kali dengan alat pemadat. Langkah kedua, ratakan permukaan atas mortar dalam cincin leleh dan bersihkan mortar yang menempel

di bagian luar cincin leleh. Langkah ketiga, angkat cincin leleh perlahan-lahan, sehingga di atas meja leleh terbentuk mortar berbentuk kerucut terpancung. Langkah keempat, getarkan meja leleh sebanyak 25 kali. Langkah kelima, ukur diameter mortar di atas meja leleh minimal pada 4 tempat yang berlainan, dan kemudian hitung diameter rata – rata.

E. Perawatan benda uji

Apabila benda uji telah selesai dibuat, maka langkah selanjutnya adalah membuka bekisting dan melakukan perawatan benda uji. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara merendam benda uji ke dalam air yang berada di dalam bak perendaman. Perawatan benda uji ini memiliki tujuan untuk menjaga kelembaban benda uji dan juga untuk memaksimalkan kekuatan benda uji. Perendaman ini dilakukan dalam waktu 28 hari. Sebelum merendam benda uji, timbang terlebih dahulu benda uji, catat hasilnya. Kemudian barulah dilakukan perendaman benda uji. Setelah 28 hari benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan kemudian dikeringkan menggunakan kain dan ditimbang lalu dicatat hasilnya.

F. Pengujian benda uji

Pengujian benda uji absorpsi berdasarkan SNI 03-6433-2000 dilakukan setelah benda uji dilepas dari bekisting. Kemudian benda uji dikeringkan dengan cara memasukkan benda uji ke dalam oven pada suhu 100 sampai 110° selama ± 24 jam. Setelah itu benda uji dikeluarkan dari oven, diamkan hingga dingin dan ditimbang untuk mendapatkan massa kering. Selanjutnya, benda uji dimasukkan ke dalam bak perendaman selama ± 48 jam. Benda uji dikeluarkan dan dikeringkan menggunakan handuk atau sejenisnya untuk menghilangkan kelembaban permukaan. Kemudian, benda uji ditimbang untuk mendapatkan massa basah. Pada pengujian kuat tekan akan dilakukan setelah umur benda uji mencapai 28 hari. Pengujian nantinya akan dilakukan menggunakan alat *compression testing machine* dengan benda uji yang berbentuk silinder berukuran 5 cm \times 5 cm \times 5 cm untuk pengujian kuat tekan. Pengujian kuat tekan pada benda uji ini dilakukan berdasarkan referensi dari (SNI 03-1974-1990).

3.5 Penelusuran Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan oleh Puji Hertanto (2002) dengan judul Perbandingan Berat Jenis Semen antara Berat Volume Kering pada Suhu Kamar dengan Berat Volume Air Suling, nilai berat jenis semen berkisar antara 3,0 – 3,2. Hasil dari pengujian berat jenis ini di dapat nilai 3,16, dapat disimpulkan berat jenis semen memenuhi spesifikasi karena berada diantara nilai berat jenis yang ditentukan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Arman and Julva Adri (2020) dengan judul Analisa Pemanfaatan Pasir Sungai di Kabupaten Pesisir Selatan, diperoleh hasil pengujian berat jenis kering (OD) sebesar 2,34, berat jenis SSD sebesar 2,44, dan berat jenis apparent (APP) sebesar 2,60. Hasil ini memenuhi spesifikasi karena berada di antara 1,6 – 3,3.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Desmi (2014) dengan judul Analisis Penggunaan Gula Pasir Sebagai Retarder Pada Beton, diperoleh hasil pengujian berat jenis SSD sebesar 2,66, berat jenis OD sebesar 2,62 dan penyerapan air agregat halus sebesar 1,68%. Sehingga berat jenis dan penyerapan air memenuhi karena berada diantara 1,6 – 3,3 dan 0,20% - 2,00%. Hasil pengujian berat volume gembur agregat halus didapat sebesar 1448 kg/m³ dan berat volume padat agregat halus sebesar 1564 kg/m³. Hasil ini memenuhi spesifikasi karena berada di interval 1400 – 1900 kg/m³.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Tarisa et al. (2016) dengan judul Durabilitas Beton Bubuk Kulit Kerang di Lingkungan Air Laut, diperoleh hasil pemeriksaan kadar air agregat halus adalah sebesar 2,04%. Nilai ini memenuhi standar spesifikasi kadar air agregat halus yaitu 2% - 5%. Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus diperoleh modulus kehalusan butiran sebesar 1,9. Nilai ini memenuhi standar spesifikasi modulus kehalusan butiran agregat halus yaitu 1,5 -3,8. Berat volume padat agregat halus diperoleh sebesar 1547,92 kg/m³ dan berat volume gembur agregat halus sebesar 1402,54 kg/m³. Nilai ini memenuhi spesifikasi berat volume yaitu 1400 -1900 kg/m³.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Prakasa and Safitri (2021) dengan judul Pengujian Kadar Air Agregat Halus, dari hasil perhitungan dan percobaan, dapat

diketahui bahwa nilai kadar air agregat halusnya yaitu 2,9% dan memenuhi standar yaitu berkisar 2% - 5%. Maka disimpulkan bahwa sampel pasir tersebut dapat digunakan sebagai campuran beton.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Afrian et al. (2017) dengan judul Kuat Tekan Mortar OPC Abu Sekam Padi Pada Suhu Tinggi, didapat hasil sifat fisis pemeriksaan analisa saringan agregat halus diperoleh modulus kehalusan butiran sebesar 2,22. Nilai ini memenuhi standar spesifikasi modulus kehalusan butiran agregat halus yaitu 1,5-3,8. Dari hasil pemeriksaan saringan agregat halus diperoleh gradasi butiran memenuhi batas-batas pada zona II. Hasil pemeriksaan kadar organik yang diperoleh adalah warna nomor 3. Warna ini memenuhi standar spesifikasi kadar organik agregat halus yaitu tidak boleh lebih dari warna nomor 2. Dengan demikian agregat halus ini dapat digunakan sebagai material pembentuk mortar dan agregat halus yang digunakan tidak mengandung organik yang tinggi sehingga layak untuk campuran mortar.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Haris (2020) dengan judul Studi Kelayakan Penggunaan Cangkrang Kemiri Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Mutu Beton, diperoleh hasil pemeriksaan kotoran organik agregat halus menunjukkan bahwa agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, karena kotoran organik agregat halus tidak melampaui warna standar di atas warna No. 3, kotoran organik agregat halus tergolong warna standar No. 2. Kotoran organik dapat berupa bahan-bahan yang telah membusuk seperti humus atau tanah yang mengandung bahan organik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Raza et al. (2023) dengan judul *Experimental Analysis of Multiwalled CNT-incorporated Self-compacting Mortar (SCM)*, metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Pada penelitian ini, *workability* menurun seiring dengan meningkatnya persentase MWCNT, tetapi sifat mekanik SCM ditemukan meningkat secara signifikan dengan penambahan MWCNT pada berbagai usia dan konsentrasi. Peningkatan kuat lentur dan kuat tekan tertinggi yang diamati pada konsentrasi 0,1% dibandingkan benda uji kontrol setelah 28 hari, masing-masing sebesar 54,6% dan 61,2%. Penggabungan CNT berdinding banyak ke dalam mortar yang dapat memadat

sendiri menghasilkan peningkatan sifat mekanik, terutama dengan mengurangi porositas melalui pengisian retakan mikro dan penyempurnaan pori-pori, yang pada gilirannya meningkatkan kekuatan tekan. Namun, penambahan CNT berlebihan menyebabkan sifat mekanik menurun, karena partikel semen hanya terhidrasi sebagian yang menyebabkan aglomerasi pada mortar. Oleh karena itu, ditentukan bahwa konsentrasi MWCNT yang sesuai, dalam kisaran 0,05-0,1 persen berat, sangat efektif dalam meningkatkan sifat-sifat mortar yang dapat memadat sendiri tanpa efek negatif.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al. (2021) dengan judul *A Critical Review on Effect of Nanomaterials on Workability and Mechanical Properties of High-Performance Concrete*, Aliran *slump* dan *slump* beton yang dimodifikasi dengan NS berkurang. Semakin besar jumlah penggantian semen maka semakin rendah kemampuan pengerjaannya. Dalam hal ini, bahan pereduksi air dalam jumlah yang sesuai harus digunakan untuk memastikan kinerja kerja HPC yang mengandung NS. Penambahan nano-CaCO₃ menurunkan kemampuan kerja mortar dan beton dengan kandungan FA tinggi, dan kemampuan kerja menurun seiring dengan meningkatnya penggantian semen. Kemerossotan HPC dipengaruhi secara signifikan oleh penambahan CNT. Dengan meningkatnya kandungan CNT, slumpnya turun, dan ketika mencapai 1%, slumpnya turun di bawah 20 mm. Namun, kemampuan kerja HPC ditingkatkan dengan menambahkan zat pereduksi air. Penambahan berbagai bahan nano mengurangi kemampuan kerja HPC, seperti NT, Al₂O₃, dan metakaolin.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Cerro-Prada et al. (2020) dengan judul *Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Strength and Electrical Properties of Cement Mortar*, metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Variabel MWCNT yang ditambahkan ke mortar semen dalam empat konsentrasi berbeda yaitu, 0,00%, 0,01%, 0,015%, dan 0,02%. Dengan perawatan benda uji 28 dan 90 hari. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan kekuatan tekan dicapai pada mortar dengan kandungan MWCNT. Peningkatan luar biasa sebesar 25,4% pada 90 hari dan 5,3% pada 28 hari masing-masing terdapat pada kekuatan tekan, dengan tambahan 0,02% berat MWCNT.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Guo et al. (2022) dengan judul *Strength Analysis of Cement Mortar with Carbon Nanotube Dispersion Based on Fractal Dimension of Pore Structure*, bertujuan untuk menganalisis hubungan antara *entrainment* gas dengan dispersi CNT dan kekuatan mortar, penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari uji kekuatan dan struktur mikropori mortar modifikasi dispersi CNT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompleksitas struktur pori dapat direfleksikan secara akurat oleh dimensi fraktal. Nilai porositas mortar dengan kandungan CNT 0,05% dan 0,5% berturut-turut adalah 15,5% dan 43,26%. Selain itu, korelasi abu-abu antara dimensi fraktal struktur pori dan kekuatan mortar modifikasi dispersi CNT melebihi 0,95. Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya pori dan ketidakteraturan permukaan bagian dalam pori merupakan faktor utama yang mempengaruhi kekuatan mortar termodifikasi dispersi CNT.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rochmatullaili and Risdianto (2022) dengan judul *Pemanfaatan Abu Sekam Padi dan Carbon Nanotube Sebagai Material Penyusun Beton Ringan Seluler*. Mortar dengan kandungan CNT mengalami peningkatan kuat tekan seiring dengan bertambahnya variasi CNT. Ketika kuat tekan tersebut meningkat, maka absorpsinya menurun. Dapat disimpulkan bahwa kuat tekan akan mempengaruhi absorpsi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Madhavi et al. (2012) dengan judul *Effect of Multiwalled Carbon Nanotubes On Mechanical Properties of Concrete*, metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Digunakan semen Portland biasa grade 43 dan digunakan pasir sungai yang lolos saringan 4,75 mm dan agregat kasar ukuran 20 mm. Air Portabel digunakan untuk pencampuran dan pengawetan. Rasio air semen adalah 0,4 dan rasio campurannya adalah 1: 1,26 : 2,48. Penggunaan MWCNT 0,015%, 0,03% dan 0,045% semen (berat) diuji setelah 28 hari pengawetan. Hasil menunjukkan peningkatan kuat tekan dan tarik belah sampel dengan meningkatnya MWCNT. MWCNT 0,045% mengalami peningkatan kuat tekan 28 hari sebesar 27 % sedangkan kuat tarik belah meningkat sebesar 66%. Perambatan retak berkurang dan penyerapan air menurun sebesar 17% pada perawatan 28 hari.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Anggoro and Saraswati (2021) dengan judul Sintesis Carbon Nanotube (CNT) Menggunakan Prekursor Bahan Alam Serta Modifikasi CNT Sebagai Komposit CNT/Resin Epoksi: Review. 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 [2]. 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.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Senff et al. (2012) dengan judul *Effect of nano-SiO₂ and nano-TiO₂ addition on the rheological behavior and the hardened properties of cement mortars*. Efek nanopartikel silika (nS) dan titania (nT) dalam bahan berbasis semen, secara umum menyimpulkan bahwa nS mempercepat reaksi kimia selama hidrasi awal. nS bereaksi dengan kalsium hidroksida (CH) dan meningkatkan jumlah kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang dihasilkan, menghasilkan struktur mikro yang kompak dan akibatnya, meningkatkan sifat mekanik mortar. Reaksi CSH dapat memperkuat beton dengan meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton. Selain itu, reaksi CSH juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan yang korosif seperti air, oksigen, dan cahaya matahari. Namun, reaksi CSH dapat menyebabkan peningkatan volume beton yang dapat menyebabkan retak dan kerusakan pada beton. Semakin padat mortar beton atau semakin kecil pori – pori yang ada, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Konsta-Gdoutos et al. (2010) dengan judul *Multi-scale mechanical and fracture characteristics and early-age train capacity of high performance carbon nanotube/cement nanocomposites*, metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Ditemukan bahwa sejumlah kecil MWCNT tersebar secara efektif (0,025–0,08% berat semen) dapat meningkatkan kekuatan secara signifikan dan kekakuan matriks semen. Secara khusus, lebih rendah jumlah MWCNT panjang (0,025–0,048% berat) memberikan

hasil yang efektif penguatan, sementara jumlah yang lebih tinggi (mendekati 0,08% berat) kurang MWCNT diharuskan mencapai tingkat penguatan yang sama ditemukan juga bahwa MWCNT yang tersebar secara efektif memberikan peran unik dalam material berbasis semen.

Tabel 3.4 Penelitian terdahulu

No.	Judul Penelitian dan Penulis	Metode	Hasil dan Kesimpulan
1.	Perbandingan Berat Jenis Semen antara Berat Volume Kering pada Suhu Kamar dengan Berat Volume Air Suling (Puji Hertanto, 2002)	Metode eksperimental	Nilai berat jenis yang didapat 3,16, dapat disimpulkan bahwa berat jenis memenuhi spesifikasi.
2.	Analisa Pemanfaatan Pasir Sungai Di kabupaten Pesisir Selatan (Arman and Julva Adri, 2020)	Metode eksperimental	Berat jenis kering 2,34, berat jenis SSD 2,44, berat jenis semu 2,6. Berat jenis pasir memenuhi spesifikasi dan dapat digolongkan sebagai agregat normal.
3.	Analisis Penggunaan Gula Pasir Sebagai Retarder Pada Beton (Desmi, 2014)	Metode eksperimental	Berat jenis SSD sebesar 2,66, berat jenis kering sebesar 2,62, dan penyerapan air sebesar 1,68%. Berat volume padat agregat halus sebesar 1564 kg/m ³ dan berat volume gembur agregat halus sebesar 1448 kg/m ³ . Berat jenis dan berat volume agregat halus memenuhi spesifikasi.
4.	Durabilitas Beton Bubuk Kulit Kerang Di Lingkungan Air Laut (Tarisa et al., 2016)	Metode eksperimental	Hasil pemeriksaan kadar air agregat halus adalah sebesar 2,04%. Berat volume padat agregat halus diperoleh sebesar 1547,92 kg/m ³ dan berat volume gembur agregat halus sebesar 1402,54 kg/m ³ . Untuk modulus halus butir diperoleh nilai sebesar 1,9. Nilai ini memenuhi standar spesifikasi agregat.

5.	Pengujian Kadar Air Agregat Halus (Prakasa and Safitri, 2021)	Metode eksperimental	Nilai kadar air agregat halusnya yaitu 2,9%. Maka kadar air memenuhi spesifikasi
6.	Kuat Tekan Mortar Opc Abu Sekam Padi Pada Suhu Tinggi (Afrian et al., 2017)	Metode eksperimental	Hasil pemeriksaan kadar organik yang diperoleh adalah warna nomor 3. Warna ini memenuhi standar spesifikasi kadar organik agregat halus yaitu tidak boleh lebih dari warna nomor 3. Dan Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus diperoleh modulus kehalusan butiran sebesar 2,22. Nilai ini memenuhi standar spesifikasi
7.	Studi Kelayakan Penggunaan Cangkang Kemiri Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Mutu Beton (Haris, 2020)	Metode eksperimental	Hasil pemeriksaan kotoran organik agregat halus tergolong warna standar No. 2. Hasil ini memenuhi standar karena tidak di atas warna No. 3.
8.	<i>Experimental Analysis of Multiwalled CNT-incorporated Self-compacting Mortar (SCM)</i> (Raza et al., 2023)	Metode eksperimental	<i>Workability</i> menurun seiring dengan meningkatnya persentase MWCNT, tetapi sifat mekanik SCM ditemukan meningkat secara signifikan dengan penambahan MWCNT pada berbagai usia dan konsentrasi. Namun, penambahan CNT berlebihan menyebabkan sifat mekanik menurun, karena partikel semen hanya terhidrasi sebagian yang menyebabkan aglomerasi pada mortar.
9.	<i>A Critical Review on Effect of Nanomaterials on Workability and Mechanical Properties of High-Performance Concrete</i>	Metode kualitatif	Kemerosotan HPC dipengaruhi secara signifikan oleh penambahan CNT. Dengan meningkatnya kandungan CNT, slumpnya turun, dan ketika mencapai 1%, slumpnya turun di bawah 20 mm

	(Zhang et al., 2021)		
10.	<i>Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Strength and Electrical Properties of Cement Mortar</i> (Cerro-Prada et al., 2020)	Metode eksperimental	Hasil pengujian menunjukkan kekuatan tekan meningkat pada mortar dengan kandungan MWCNT. Peningkatan kuat tekan luar biasa sebesar 25,4% pada 90 hari dan peningkatan 5,3% pada 28 hari dengan tambahan 0,02% berat MWCNT.
11.	<i>Strength Analysis of Cement Mortar with Carbon Nanotube Dispersion Based on Fractal Dimension of Pore Structure</i> (Guo et al., 2022)	Metode eksperimental laboratorium	Nilai porositas mortar dengan kandungan CNT 0,05% dan 0,5% berturut-turut adalah 15,5% dan 43,26%. Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya pori dan ketidakteraturan permukaan bagian dalam pori merupakan faktor utama yang mempengaruhi kekuatan mortar termodifikasi dispersi CNT.
12.	Pemanfaatan Abu Sekam Padi Dan Carbon Nanotube Sebagai Material Penyusun Beton Ringan Seluler (Rochmatullaili and Risdianto, 2022)	Metode eksperimental laboratorium	Mortar dengan kandungan CNT mengalami peningkatan kuat tekan. Ketika kuat tekan tersebut meningkat, maka absorpsinya menurun. Dapat disimpulkan bahwa kuat tekan akan mempengaruhi absorpsi.
13.	<i>Effect of Multiwalled Carbon Nanotubes On Mechanical Properties of Concrete</i> (Dr.T.Ch.Madhavi et al., 2012)	Metode eksperimental	36 benda uji dengan MWCNT 0,015%, 0,03% dan 0,045% semen (berat) diuji setelah 28 hari pengawetan. Hasil menunjukkan peningkatan kuat tekan dan tarik belah sampel dengan meningkatnya MWCNT. MWCNT 0,045% mengalami peningkatan kuat tekan 28 hari sebesar 27 % sedangkan kuat tarik belah meningkat sebesar 66%. Perambatan retak berkurang dan penyerapan air menurun sebesar 17% pada perawatan 28 hari.
14.	Sintesis Carbon Nanotube (CNT) Menggunakan	Metode kualitatif	Salah satu bahan nano yang paling populer digunakan untuk meningkatkan kuat tekan pada

	<p>Prekursor Bahan Alam Serta Modifikasi CNT Sebagai Komposit CNT/Resin Epoksi: Review</p> <p>(Anggoro and Saraswati, 2021)</p>		<p>campuran mortar beton adalah <i>Carbon Nanotubes</i> (CNT)</p>
15.	<p><i>Effect of nano-SiO₂ and nano-TiO₂ addition on the rheological behavior and the hardened properties of cement mortars</i></p> <p>(Senff et al., 2012)</p>	<p>Metode eksperimental</p>	<p>Reaksi CSH dapat memperkuat beton dengan meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton. Selain itu, reaksi CSH juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan yang korosif seperti air, oksigen, dan cahaya matahari. Namun, reaksi CSH dapat menyebabkan peningkatan volume beton yang dapat menyebabkan retak dan kerusakan pada beton. Semakin padat mortar beton atau semakin kecil pori – pori yang ada, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.</p>
16.	<p><i>Multi-scale mechanical and fracture characteristics and early-age strain capacity of high performance carbon nanotube/cement nanocomposites</i></p> <p>(Konsta-Gdoutos et al., 2010)</p>	<p>Metode eksperimental</p>	<p>Penambahan sejumlah kecil bahan nano dapat meningkatkan sifat mekanik material (seperti kuat tekan mortar beton) secara signifikan</p>

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada bab ini hasil yang diuraikan adalah hasil dari pengujian sifat fisis material, proporsi campuran mortar beton, pengujian slump, hasil pengujian kuat tekan mortar dan hasil pengujian absorpsi mortar.

4.1.1 Pengujian berat jenis semen

Dalam pengujian ini dilakukan untuk mencari berat jenis semen sebagai pengikat dalam campuran beton. Setelah melakukan pengujian ini didapat rata-rata berat jenis semen sebesar 3,061. Data dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Berat jenis semen

Sampel	Berat Jenis Semen
I	3,094
II	2,965
III	3,125
Rata – rata	3,061

4.1.2 Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis dan presentase air yang dapat diserap agregat halus terhadap berat kering, berat curah kering oven (Bj. OD), berat jenis agregat pada keadaan jenuh kering permukaan (Bj. SSD), dan berat jenis semu (Bj. APP). Hasil berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Sampel	Berat jenis			Penyerapan 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
Rata – rata	2,60	2,64	2,71	1,63

4.1.3 Pengujian kadar air agregat halus

Tujuan pengujian kadar air agregat halus adalah untuk mengetahui banyaknya air yang terkandung di dalam agregat halus. Dalam pengujian ini didapat nilai rata-rata untuk kelembaban agregat halus sebesar 3,7%. Data dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kadar air agregat halus

Sampel	Kadar air (%)
I	4,0
II	3,7
III	3,3
Rata – rata	3,7

4.1.4 Pengujian berat volume agregat halus

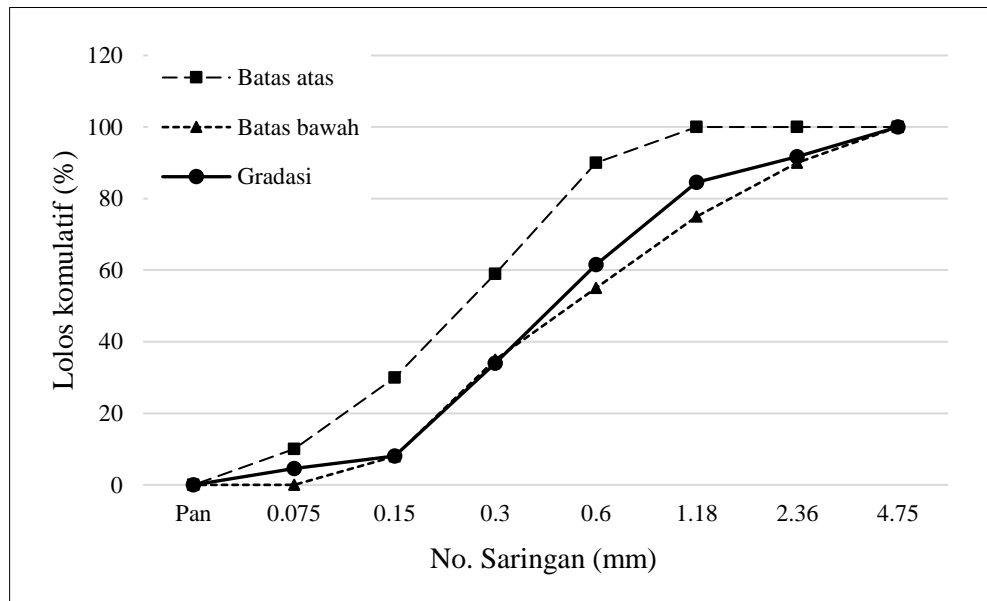
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat per satuan volume agregat yang ditempati oleh agregat tersebut. Hasil berat volume agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Berat volume agregat halus

Sampel	Berat volume gembur (kg/m ³)	Berat volume padat (kg/m ³)
I	1,484	1,522
II	1,481	1,517
III	1,474	1,514
Rata – rata	1,480	1,518

4.1.5 Pengujian analisa saringan dan modulus halus butir

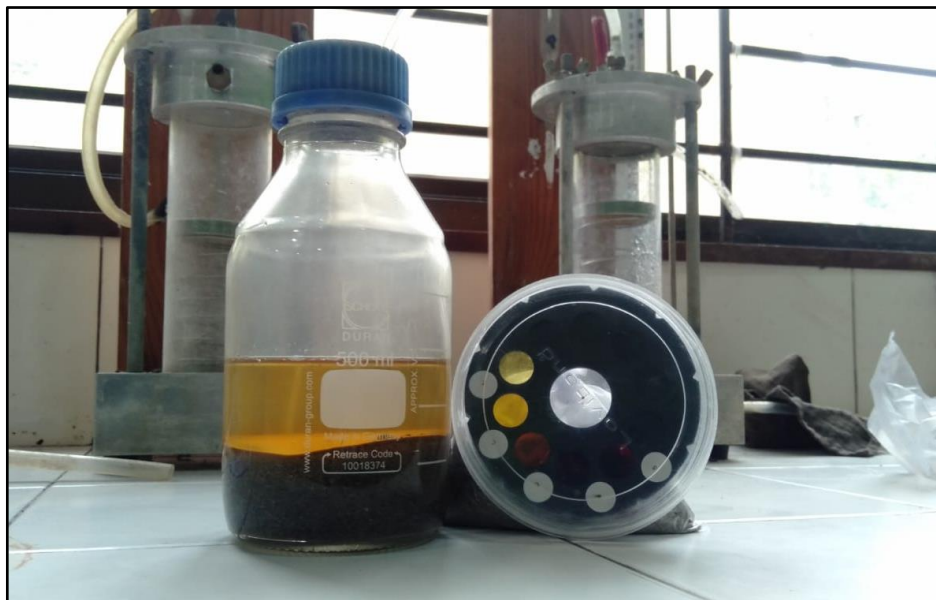
Analisa saringan dilakukan untuk mengetahui ukuran dan gradasi butiran agregat halus dari yang terkecil sampai terbesar menggunakan saringan untuk keperluan perencanaan campuran (*mix design*). Analisa saringan dilakukan dengan menggunakan saringan nomor 4 (4,75 mm), 8 (2,36 mm), 16 (1,18 mm), 30 (0,600 mm), 50 (0,300 mm), 100 (0,150 mm), 200 (0,075). Setelah dilakukan pengujian didapat nilai rata-rata modulus halus butir agregat halus sebesar 3,8 dimana masuk dalam zona II. Data dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Analisis saringan agregat halus

4.1.6 Pengujian kadar organik agregat halus

Pengujian ini dilakukan untuk melihat kadar organik dalam agregat. Dalam pengujian ini didapat hasil agregat halus termasuk dalam golongan 2, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kadar organik agregat halus

4.1.7 Proporsi campuran mortar beton

Pada penelitian ini rencana campuran yang digunakan mengacu pada SNI 03-6825-2002. Jumlah benda uji masing – masing 3 (tiga) buah per variasi dengan ukuran kubus berukuran 5cm x 5cm x 5cm. MNSP merupakan mortar dengan tambahan sp, sedangkan MCNT merupakan mortar dengan substitusi CNT dan SP. Hasil proporsi bahan campuran diperlihatkan pada, Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Proporsi Bahan Campuran Mortar untuk Tiga Buah Benda Uji

Variasi CNT (%)	Semen (gr)	Pasir (gr)	Air (ml)	CNT (ml)	SP (gr)
0	250	687,5	121	-	3,75
0,01	250	687,5	96	25	3,75
0,02	250	687,5	71	50	3,75
0,03	250	687,5	46	75	3,75
0,04	250	687,5	21	100	3,75

4.1.8 Pengujian slump

Pengujian *slump flow* digunakan untuk mengukur nilai slump mortar beton, yaitu kemampuan alir mortar beton pada permukaan bebas. Dalam pengujian ini apabila dilakukan penambahan CNT maka akan terjadi penurunan nilai slump dikarenakan CNT menyerap air pada mortar. Hasil pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 *Slump Flow Test*

Variasi CNT (%)	Nilai <i>Slump Test</i> (mm)
0	143
0,01	140
0,02	138
0,03	135
0,04	130

4.1.9 Pengujian kuat tekan mortar

Untuk pengujian kuat tekan dilakukan pengangkutan benda uji dari bak perendaman lalu benda uji dilap dan ditimbang untuk mengetahui berat volume mortar. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat *compression testing machine*,

dengan cara membebani benda uji secara terus menerus sehingga diperoleh beban maksimum yang menyebabkan benda uji tersebut retak. Setelah didapat nilai gaya tekan beton, kemudian dihitung kuat tekan mortar tersebut. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian kuat tekan mortar

Variasi CNT (%)	Kuat Tekan rata-rata (MPa)
0	21,20
0,01	22,93
0,02	26,40
0,03	27,87
0,04	24,27

4.1.10 Pengujian absorpsi mortar

Pengujian ini dilakukan dengan cara benda uji dimasukkan kedalam oven selama ± 24 jam dan ditimbang untuk mendapatkan massa kering oven. Kemudian benda uji direndam selama ± 48 jam dan keringkan permukaan benda uji untuk menghilangkan kelembaban permukaan dan setelah itu ditimbang untuk mendapatkan massanya. Hasil pengujian absorpsi dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil pengujian absorpsi

Variasi CNT (%)	Absorpsi rata – rata (%)
0	9,865
0,01	8,835
0,02	8,661
0,03	8,250
0,04	8,573

4.2 Pembahasan

Pembahasan dilakukan setelah didapatkan semua data - data yang diperlukan dari penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh dan diolah sesuai dengan persamaan - persamaan yang terdapat pada tinjauan kepustakaan.

4.2.1 Pengujian berat jenis semen

Berdasarkan SNI 15-2531-1991 berat jenis semen berkisar antara 2,9 – 3,2. Setelah melakukan pengujian ini didapat rata-rata berat jenis semen sebesar 3,061. Sehingga berat jenis semen telah memenuhi standar spesifikasi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang oleh Puji Hertanto (2002) dan Kimberly Kurtis (2010), didapat berat jenis semen memenuhi standar spesifikasi karena berada di antara nilai berat jenis yang ditentukan.

4.2.2 Pengujian berat jenis dan penyerapan air 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 didapat rata-rata berat curah kering oven (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 (Bj. APP) sebesar 2,71. Sedangkan untuk penyerapan air 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. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Arman and Julva Adri (2020) dan Desmi (2014), didapat berat jenis OD, berat jenis SSD, berat jenis APP dan penyerapan air memenuhi spesifikasi karena berada di interval 1,6 - 3,3. Dan agregat tersebut dapat digolongkan sebagai agregat normal.

4.2.3 Pengujian kadar air agregat halus

Untuk pengujian kadar air berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat halus (pasir) standar SNI 03-1971-1990, dengan interval untuk kadar air yaitu antara 2,0% - 5,0%. Jadi kadar air yang diperoleh dari hasil pengujian 3,7% sesuai dengan standar spesifikasi. Sehingga agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Tarisa et al. (2016) dan Prakasa and Safitri (2021), didapat kadar air agregat halus memenuhi standar spesifikasi, berada di interval 2,0% - 5,0%.

4.2.4 Pengujian berat volume agregat halus

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat halus (pasir) standar SNI 03-4804-1998, interval untuk berat volume yaitu antara 1400 - 1900 kg/m³. Jadi nilai berat volume yang diperoleh dari hasil pemeriksaan yaitu 1518 kg/m³ untuk volume padat dan 1480 kg/m³ untuk volume gembur. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Tarisa et al. (2016) dan Desmi (2014), didapat berat volume gembur dan volume padat agregat halus memenuhi spesifikasi standar dalam rentang 1400 – 1900 kg/m³.

4.2.5 Pengujian analisis saringan dan modulus halus butir

Berdasarkan SNI 03-1750-1190 modulus halus butir untuk agregat halus berkisar 1,5 – 3,8, pada penelitian ini didapat modulus halus butir untuk agregat halus sebesar 3,8 yang termasuk dalam zona II berdasarkan SNI 03-2834-2000 dan ASTM C-33 dimana gradasi pasir agak kasar. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Afrian et al. (2017) dan Tarisa et al. (2016), nilai modulus halus butir sebesar 1,9. Sehingga modulus halus butir memenuhi karena sesuai standar spesifikasi berkisar 1,5 - 3,8.

4.2.6 Pengujian kadar organik agregat halus

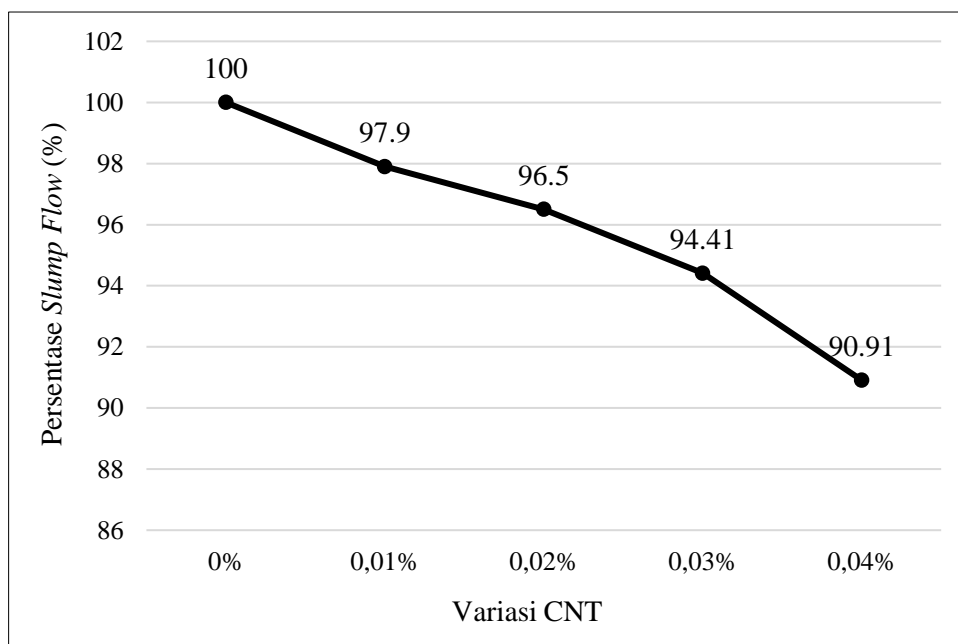
Berdasarkan SNI 03-2816-1992 jika warna benda uji lebih gelap dari warna larutan standar atau menunjukkan warna standar lebih besar dari No. 3 maka kemungkinan mengandung bahan organik yang tidak diizinkan untuk bahan campuran mortar atau beton. Kadar organik yang didapat dari pengujian ini termasuk No. 2. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Haris (2020), juga menunjukkan bahwa kotoran organik agregat halus tergolong warna standar No. 2. Hasil yang sesuai juga dilakukan oleh Afrian et al. (2017), kadar organik yang diperoleh adalah warna No. 3. Sehingga agregat memenuhi spesifikasi dan bisa digunakan untuk campuran mortar karena tidak besar dari No. 3.

4.2.7 Proporsi campuran mortar beton

Untuk campuran mortar digunakan proporsi campuran 1:2,75 untuk semen dan pasir, sedangkan untuk rasio air semen atau dikenal dengan Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,485%. *Superplasticizer* yang digunakan sebesar 1,5% dari berat semen. Untuk CNT menggunakan variasi 0,01%, 0,02%, 0,03%, 0,04% dari berat semen.

4.2.8 Pengujian *slump flow*

Berdasarkan pengujian *slump flow* didapat nilai *slump flow* pada mortar tanpa substitusi CNT lebih tinggi dibandingkan mortar dengan substitusi CNT. Dalam pengujian ini apabila dilakukan penambahan CNT maka akan terjadi penurunan nilai *slump* dikarenakan CNT menyerap air pada mortar lebih banyak. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Raza et al. (2023), bahwa semakin meningkatnya persentase penggunaan CNT maka *workability* mortar menurun. Zhang et al. (2021) juga mengatakan dengan meningkatnya kandungan CNT, maka nilai *slump*nya menurun. Hasil persentase pengujian *slump flow* disajikan dalam bentuk grafik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.3.

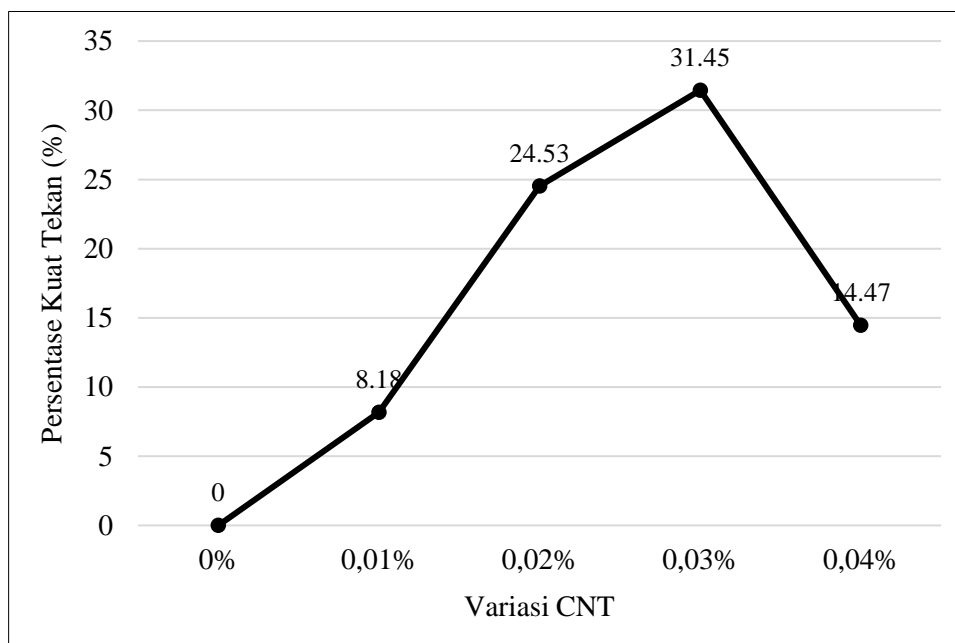


Gambar 4.3 Persentase *slump flow*

Dari Gambar 4.3 menunjukkan bahwa penggunaan substitusi CNT 0,01%, 0,02%, 0,03% dan 0,04% mengalami penurunan berturut – turut sebesar 2,10%, 3,50%, 5,59%, 9,09% dibandingkan benda uji kontrol.

4.2.9 Pengujian kuat tekan

Berdasarkan pengujian kuat tekan mortar yang berusia 28 hari dengan substitusi CNT sebesar 0,01%, 0,02%, 0,03% dan 0,04% diperoleh hasil persentase kuat tekan berturut-turut sebesar 8,18%, 24.53%, 31.45%, dan 14.47% dibandingkan benda uji kontrol. Hasil persentase kuat tekan mortar disajikan dalam bentuk grafik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.4.



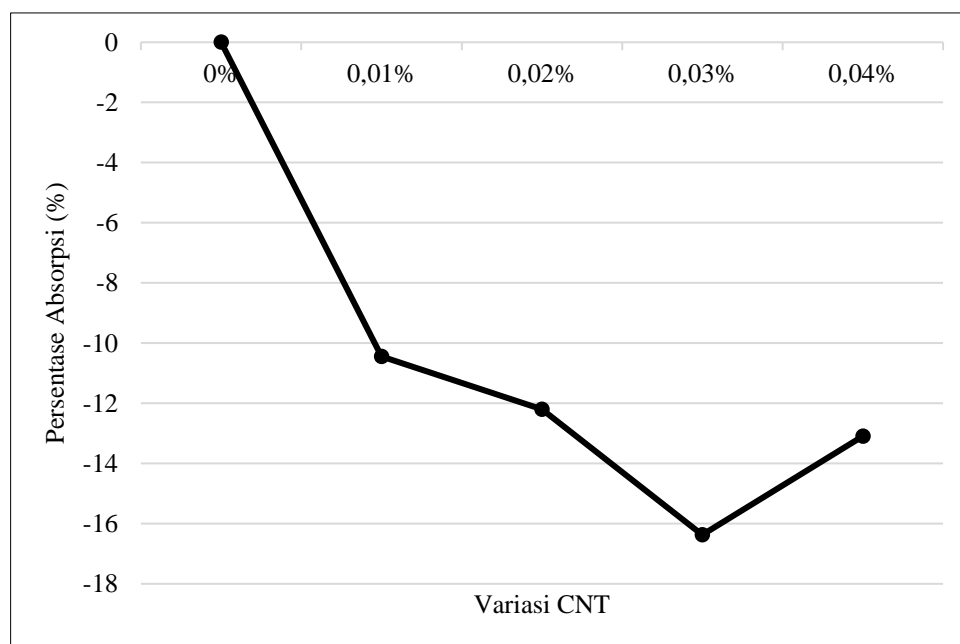
Gambar 4.4 Persentase kuat tekan mortar beton dengan substitusi CNT

Dari Gambar 4.4 menunjukkan bahwa persentase maksimum dari pengujian kuat tekan mortar terdapat pada substitusi CNT 0,03% yaitu sebesar 31,45% dibandingkan dengan benda uji kontrol. Dari hasil pengujian kuat tekan maka diketahui bahwa penggunaan CNT mampu membuat mortar lebih kuat dibandingkan dengan mortar tanpa CNT. Hasil serupa juga didapat oleh Cerro-Prada et al. (2020) menunjukkan bahwa mortar dengan kandungan CNT menunjukkan adanya peningkatan pada semua benda uji yang diteliti. Tetapi

penambahan CNT yang berlebihan dapat membuat kuat tekan mortar menurun. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Raza et al. (2023), bahwa penambahan CNT berlebihan menyebabkan kuat tekannya menurun, karena partikel semen hanya terhidrasi sebagian yang menyebabkan aglomerasi pada mortar.

4.2.10 Pengujian absorpsi

Berdasarkan hasil pengujian absorpsi yang telah dilakukan dengan substitusi CNT sebesar 0,01%, 0,02%, 0,03% dan 0,04% diperoleh hasil penurunan persentase absorpsi sebesar 10,44%, 12,20%, 16,37% dan 13,09% dibandingkan benda uji kontrol. Hasil persentase absorpsi mortar disajikan dalam bentuk grafik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Persentase absorpsi mortar beton dengan substitusi CNT

Dari data Gambar 4.5 menunjukkan bahwa persentase minimum dari pengujian absorpsi mortar terdapat pada substitusi CNT 0,03% yaitu sebesar 16,37% lebih rendah dibandingkan dengan benda uji kontrol. Dari hasil pengujian absorpsi maka diketahui bahwa penambahan CNT pada mortar dapat menurunkan absorpsi karena CNT mengisi pori – pori pada mortar tersebut. Akan tetapi,

penambahan CNT berlebihan dapat membuat absorpsi meningkat. Semakin banyak pori – pori dalam mortar, maka akan berpengaruh dari segi kuat tekan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Guo et al. (2022) bahwa banyaknya pori dan ketidakteraturan permukaan bagian dalam pori merupakan faktor utama yang mempengaruhi kekuatan mortar termodifikasi dispersi CNT. Pada penelitian ini jika nilai kuat tekan meningkat maka absorpsi mortarnya menurun. Hasil ini serupa dengan penelitian yang dilakukan Rochmatullaili and Risdianto (2022) dan Madhavi et al. (2012) bahwa mortar dengan penambahan CNT ketika kuat tekan meningkat maka absorpsinya akan menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan mortar beton tanpa substitusi CNT adalah sebesar 21,20 MPa, setelah disubstitusikan CNT 0,01% pada mortar maka kuat tekan meningkat menjadi 22,93 MPa. Sehingga penggunaan CNT 0,01% berpengaruh untuk meningkatkan kuat tekan sebesar 8,18%. Pada substitusi CNT 0,02% terhadap mortar beton berpengaruh meningkatkan kuat tekan sebesar 26,40 MPa atau 24,53% dari mortar kontrol. Untuk substitusi CNT 0,03% pada mortar beton berpengaruh meningkatkan kuat tekan sebesar 27,87 MPa atau 31,45% dari mortar kontrol. Sebaliknya pengaruh substitusi CNT 0,04% menyebabkan penurunan kuat tekan mortar beton menjadi 24,27 MPa dari kuat tekan mortar beton dengan substitusi CNT 0,03%. Hal ini disebabkan karena CNT mengalami penggumpalan yang membuat mortar tersebut menjadi tidak homogen. Kuat tekan mortar beton optimum terdapat pada substitusi CNT 0,03%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa substitusi CNT berpengaruh terhadap kuat tekan mortar beton.
2. Absorpsi mortar beton tanpa substitusi CNT adalah sebesar 9,865%, setelah disubstitusikan CNT 0,01% pada mortar maka absorpsi menurun menjadi 8,835%. Sehingga penggunaan CNT 0,01% berpengaruh untuk menurunkan absorpsi sebesar 10,44%. Pada substitusi CNT 0,02% terhadap mortar beton berpengaruh menurunkan absorpsi sebesar 8,661% atau 12,20% dari mortar kontrol. Untuk substitusi CNT 0,03% pada mortar beton berpengaruh menurunkan absorpsi sebesar 8,250% atau 16,37% dari mortar kontrol. Sebaliknya pengaruh substitusi CNT 0,04% menyebabkan peningkatan absorpsi mortar beton menjadi 8,573% dari absorpsi mortar beton dengan substitusi CNT 0,03%. Hal ini disebabkan karena persentase CNT yang besar

menyebabkan terjadinya penggumpalan yang membuat pori – pori pada mortar menjadi lebih banyak. Absorpsi minimum terdapat pada substitusi CNT 0,03%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa substitusi CNT berpengaruh terhadap absorpsi mortar beton.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh saran sebagai pertimbangan untuk penelitian berikutnya yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mortar dengan campuran CNT dengan melakukan pengujian sifat mekanis lainnya seperti, kuat tarik, kuat geser, permeabilitas dan lain – lain. Kemudian, dapat dilakukan penelitian mortar dengan menambahkan material nano yang lain seperti *Carbon Nanofibers*, *Graphene Oxide*, dan lain – lain, dengan harapan mendapatkan sifat mekanis yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrian, M., Olivia, M., Djauhari, Z., 2017. Kuat Tekan Mortar OPC Abu Sekam Padi Pada Suhu Tinggi 4.
- Ahmed, B.R., Hussein, A.-J., Saleh, D., Rashid, R.S.M., 2019. Influence of Carbon Nanotubes (CNTs) in the Cement Composites. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 357, 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012024>
- Anggoro, P.A., Saraswati, T.E., 2021. Sintesis Carbon Nanotube (CNT) Menggunakan Prekursor Bahan Alam Serta Modifikasi CNT Sebagai Komposit CNT/Resin Epoksi: Review. Proc.Chem.Conf 6, 1. <https://doi.org/10.20961/pcc.6.0.55082.1-8>
- Arman, Julva Adri, A., 2020. Analisa Pemanfaatan Pasir Sungai Dikabupaten Pesisir Selatan 2.
- ASTM C270 Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. <https://doi.org/10.1520/C0270-14A>
- Burtscher, L., 2015. Electrical and mechanical properties of carbon nanotubes.
- Cerro-Prada, E., Pacheco-Torres, R., Varela, F., 2020. Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Strength and Electrical Properties of Cement Mortar. Materials 14, 79. <https://doi.org/10.3390/ma14010079>
- Desmi, A., 2014. Analisis Penggunaan Gula Pasir Sebagai Retarder Pada Beton 4.
- Dr.T.Ch.Madhavi, Dr.T.Ch.M., Pavithra.P, Pavithra.P., Sushmita Baban Singh, S.B.S., S.B.Vamsi Raj, S.B.V.R., Paul, S., 2012. Effect of Multiwalled Carbon Nanotubes On Mechanical Properties of Concrete. IJSR 2, 166–168. <https://doi.org/10.15373/22778179/JUNE2013/53>
- Dzikri, M., Firmansyah, M., 2018. Pengaruh Penambahan Superplasticizer Pada Beton Dengan Limbah Tembaga (Copper Slag) Terhadap Kuat Tekan Beton Sesuai Umurnya.
- Goldmann, E., Górski, M., Klemczak, B., 2021. Recent Advancements in Carbon Nano-Infused Cementitious Composites. Materials 14, 5176. <https://doi.org/10.3390/ma14185176>
- Guo, J., Yan, Y., Wang, J., Xu, Y., 2022. Strength Analysis of Cement Mortar with Carbon Nanotube Dispersion Based on Fractal Dimension of Pore Structure. Fractal Fract 6, 609. <https://doi.org/10.3390/fractalfract6100609>
- Haris, H., 2020. Studi Kelayakan Penggunaan Cangkang Kemiri Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Mutu Beton. RTCEJRD 41–46. <https://doi.org/10.22487/renstra.v1i2.29>
- Konsta-Gdoutos, M.S., Metaxa, Z.S., Shah, S.P., 2010. Multi-scale mechanical and fracture characteristics and early-age strain capacity of high performance

- carbon nanotube/cement nanocomposites. *Cement and Concrete Composites* 32, 110–115.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.10.007>
- Mulyati, S., Dahlan, D., Adril, E., 2012. Pengaruh Persen Massa Hasil Pembakaran Serbuk Kayu Dan Ampas Tebu Pada Mortar Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Fisisnya. *JIF* 4, 31–39. <https://doi.org/10.25077/jif.4.1.31-39.2012>
- Nasional, B.S., 2015. SNI 2049:2015 Semen Portland.
- Nasional, B.S., 2011. SNI 1974: 2011 Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Nasional, Badan Standardisasi, 2008. SNI 1970-2008: Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.
- Nasional, Badan Standardisasi, 2008. SNI 1970: 2008 tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Nasional, B.S., 2002a. SNI 03-6820-2002: Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen.
- Nasional, B.S., 2002b. SNI 03-6821-2002: Spesifikasi Agregat Ringan untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding.
- Nasional, B.S., 2002c. SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
- Nasional, B.S., 2002d. SNI 03-6825-2002: Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil.
- Nasional, B.S., 1998. SNI 03-4804-1998. “Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat.
- Nasional, B.S., 1991. SNI 15-2531-1991: Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland.
- Nasional, Badan Standardisasi, 1990a. SNI 03-1971-1990: Metode Pengujian Kadar Air Agregat.
- Nasional, Badan Standardisasi, 1990b. SNI 03-1974-1990: Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- Nasional, Badan Standardisasi, 1990c. SNI 03-1971-1990, Metode Pengujian Kadar Air Agregat. Jakarta (ID): BSN.
- Nasional, Badan Standardisasi, 1990. SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.
- Nasional, Badan Standardisasi, 1990d. SNI 03-1972-1990 Metode Pengujian Slump beton. Bandung: Badan Standardisasi Nasional-Surat Balasan dari Perusahaan.
- Prakasa, I.D., Safitri, D., 2021. Pengujian Kadar Air Agregat Halus 1.
- Puji Hertanto, A., 2002. Perbandingan Berat Jenis Semen antara Berat Volume Kering pada Suhu Kamar dengan Berat Volume Air Suling 2.

- Raza, A., Ndiaye, M., Myler, Prof.P., 2023. Experimental Analysis of Multiwalled CNT-incorporated Self-compacting Mortar (SCM) (preprint). In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3235654/v1>
- Rochmatullaili, P., Risdianto, Y., 2022. Pemanfaatan Abu Sekam Padi Dan Carbon Nanotube Sebagai Material Penyusun Beton Ringan Seluler.
- Senff, L., Hotza, D., Lucas, S., Ferreira, V.M., Labrincha, J.A., 2012. Effect of nano-SiO₂ and nano-TiO₂ addition on the rheological behavior and the hardened properties of cement mortars. *Materials Science and Engineering: A* 532, 354–361. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.10.102>
- Syarif, H.A., Rahmi, A., Ariyanto, A., 2022. Kuat Tekan dan Absorpsi Mortar Geopolimer Abu Sawit Portland Composite Cement dengan Variasi Suhu Tinggi 15.
- Tarisa, E., Olivia, M., Kamaldi, A., 2016. Durabilitas Beton Bubuk Kulit Kerang Di Lingkungan Air Laut 3.
- Tjokrodinuljo, K., 1996. Teknologi beton.
- Vijayabhaskar, A., Shanmugasundaram, M., 2017. Usage of Carbon nanotubes and nano fibers in cement and concrete: A review. *IJET* 9, 564–569. <https://doi.org/10.21817/ijet/2017/v9i2/170902045>
- Wenda, K., Zuraidah, S., Hastono, B., 2018. Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan. *Ge-STRAM* 1, 8–13. <https://doi.org/10.25139/jprs.v1i1.801>
- Zhang, P., Wang, L., Wei, H., Wang, J., 2021. A Critical Review on Effect of Nanomaterials on Workability and Mechanical Properties of High-Performance Concrete. *Advances in Civil Engineering* 2021, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2021/8827124>

LAMPIRAN A PERHITUNGAN

A.1 Berat Jenis Semen

Setelah melakukan pengujian berat jenis semen, dengan perhitungan menggunakan persamaan (2.1) maka diperoleh nilai sebagai berikut :

Sampel 1

- Berat semen = 64 gr
- Pembacaan skala awal (V1) = 21 gr
- Pembacaan skala akhir (V2) = 0,4 gr
- Berat volume air pada suhu pada suhu 29°C (γ_d) = 0,996 gr/cm³
- Berat jenis semen (BJ_{semen})

$$\begin{aligned}
 BJ_{\text{semen}} &= \frac{\text{Berat semen}}{(V2 - V1)\gamma_d} \\
 &= \frac{64}{(21 - 0,4) 0,996} \\
 &= 3,094
 \end{aligned}$$

Adapun data - data yang didapatkan dari pengujian berat jenis semen seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.1.

Tabel A.1 Pemeriksaan berat jenis semen

Sampel	Berat Semen (gr)	Pembacaan skala awal (V1) (cm)	Pembacaan skala akhir (V2) (cm)	Berat isi Air γ_d (gr/cm ³)	ΔV	Berat Jenis Semen
1	64	0,4	21	0,996	20,6	3,094
2	64	0,5	22	0,996	21,5	2,965
3	64	0,6	21	0,996	20,4	3,125
Berat Jenis						3,061

A.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus Pasir

Setelah melakukan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus pasir, dengan perhitungan menggunakan persamaan (2.2) sampai dengan persamaan (2.5) maka diperoleh nilai sebagai berikut :

Sampel 1

- Berat benda uji jenuh kering oven (A) = 493,3 gr
- Berat piknometer + air + plat kaca (B) = 2005 gr
- Berat piknometer + air + benda uji + plat kaca (C) = 2315 gr
- Berat benda uji kering permukaan (S) = 500 gr
- Berat volume air pada suhu 29°C (γ_d) = 0,996 gr/cm³
- Berat jenis curah, kering oven (*bulk specific gravity OD*)

$$\begin{aligned} \text{BJ (OD)} &= \frac{A}{(B+S-C)\gamma_d} \\ &= \frac{493,3}{(2005+500-2315)0,996} \\ &= 2,61 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{BJ (SSD)} &= \frac{S}{(B+S-C)\gamma_d} \\ &= \frac{500}{(2005+500-2315)0,996} \\ &= 2,64 \end{aligned}$$

- Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

$$\begin{aligned} \text{BJ (APP)} &= \frac{A}{(B+A-C)\gamma_d} \\ &= \frac{493,3}{(2005+493,3-2315)0,996} \\ &= 2,70 \end{aligned}$$

- Penyerapan air (*water absorption*)

$$\begin{aligned} \text{Wa} &= \frac{(S-A)}{A} \times 100\% \\ &= \frac{(500-493,3)}{493,3} \times 100\% \\ &= 1,36\% \end{aligned}$$

Adapun data - data yang didapatkan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.2.

Tabel A.2 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

No	Berat	Notasi	Sampel		
			I	II	III
1	Berat uji kering oven	A	493,3	493	489,7
2	Berat Piknometer + air + plat kaca	B	2005	2005	2005
3	Berat Piknometer + air + plat kaca + benda uji	C	2315	2315	2315
4	Berat uji kering permukaan jenuh	S	500	500	500
5	Berat volume air (gr/cm ³)	γ_d	0,996	0,996	0,996
6	Berat jenis benda uji pada keadaan kering oven	OD	2,61	2,61	2,59
	Rata – rata		2,60		
7	Berat jenis benda uji pada keadaan jenuh kering permukaan	SSD	2,64	2,64	2,64
	Rata – rata		2,64		
8	Berat jenis benda uji keadaan semu	APP	2,70	2,70	2,74
	Rata – rata		2,71		
9	Penyerapan air		1,36	1,42	2,10
	Rata – rata		1,63		

A.3 Kadar Air Agregat Halus Pasir

Setelah melakukan pengujian kadar air agregat halus pasir, dengan perhitungan menggunakan persamaan (2.6) maka diperoleh nilai sebagai berikut :

Sampel 1

- Berat benda uji = 2500 gr
- Berat cawan (A) = 175 gr
- Berat benda uji awal + cawan (B) = 2675 gr
- Berat benda uji kering oven + cawan (C) = 2580 gr
- Kadar air agregat halus

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar air} &= \frac{B - C}{C - A} \times 100 \\
 &= \frac{2675 - 2580}{2580 - 175} \times 100 \\
 &= 4,0 \%
 \end{aligned}$$

Adapun data - data yang didapatkan dari pengujian kadar air agregat halus seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.3.

Tabel A.3 Pemeriksaan kadar air agregat halus

Sampel	Berat Cawan (gr)	Berat Cawan + Agregat (gr)	Berat Agregat (gr)	Berat Cawan + Agregat (Oven) (gr)	Kadar Air (%)
I	175	2675	2500	2580	4,0
II	165	2665	2500	2575	3,7
III	160	2670	2500	2590	3,3
Kadar Air Agregat Halus					3,7

A.4 Berat Volume Gembur Agregat Halus Pasir

Setelah melakukan pengujian berat volume gembur agregat halus pasir, dengan perhitungan menggunakan persamaan (2.8) maka diperoleh nilai sebagai berikut :

Sampel I

- Berat plat kaca (A) = 2195 gr
- Berat silinder (B) = 4095 gr
- Berat silinder + air + plat kaca (C) = 9305 gr
- Berat silinder + benda uji (E) = 8570 gr
- Volume air dalam silinder (D)

$$\begin{aligned} \text{Volume Air (D)} &= (C - (A+B)) \\ &= (9305 - (2195 + 4095)) \\ &= 3015 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume} &= \frac{E-B}{D} \\ &= \frac{8570-4095}{3015} \\ &= 1,484 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Adapun data - data yang didapatkan dari pengujian berat volume gembur agregat halus seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.4.

Tabel A.4 Pemeriksaan berat volume gembur agregat halus

Sampel	Berat					Volume Air W4 (gr)	Berat Volume Gembur (gr/cm ³)
	Plat Kaca W1 (gr)	Silinder W2 (gr)	Silinder + air + plat kaca W3 (gr)	Silinder + agregat W5 (gr)	Agregat (gr)		
I	2195	4095	9305	8570	4475	3015	1,484
II	2195	4095	9305	8560	4465	3015	1,481
II	2195	4095	9305	8540	4445	3015	1,474
Berat Volume Gembur Agregat Halus							1,480

A.5 Berat Volume Padat Agregat Halus Pasir

Setelah melakukan pengujian berat volume padat agregat halus pasir, dengan perhitungan menggunakan persamaan (2.8) maka diperoleh nilai sebagai berikut :

Sampel I

- Berat plat kaca (A) = 2195 gr
- Berat silinder (B) = 4095 gr
- Berat silinder + air + plat kaca (C) = 9305 gr
- Berat silinder + benda uji (E) = 8685 gr
- Volume air dalam silinder (D)

$$\begin{aligned} \text{Volume Air (D)} &= (C - (A+B)) \\ &= (9305 - (2195 + 4095)) \\ &= 3015 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume} &= \frac{E-B}{D} \\ &= \frac{8685-4095}{3015} \\ &= 1,522 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Adapun data - data yang didapatkan dari pengujian berat volume padat agregat halus seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.5.

Tabel A.5 Pemeriksaan berat volume padat agregat halus

Sampel	Berat					Volume Air W4 (gr)	Berat Volume Padat (gr/cm ³)
	Plat Kaca W1 (gr)	Silinder W2 (gr)	Silinder + air + plat kaca W3 (gr)	Silinder + agregat W5 (gr)	Agregat (gr)		
I	2195	4095	9305	8685	4590	3015	1,522
II	2195	4095	9305	8670	4575	3015	1,517
II	2195	4095	9305	8660	4565	3015	1,514
Berat Volume Padat Agregat Halus							1,518

A.6 Analisis Saringan Agregat Halus

Perhitungan analisa saringan agregat halus menggunakan persamaan 2.9, 2.10, dan 2.11 maka diperoleh nilai sebagai berikut :

Sampel I pada saringan no 8 (2,36 mm):

- Berat agregat tertahan = berat saringan berisi agregat – berat saringan

$$= 475 - 390$$

$$= 85 \text{ gr}$$
- Persentase tertahan = $\frac{\text{berat tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \times 100$

$$= \frac{85}{1000} \times 100$$

$$= 8,50 \%$$
- Persen lolos kumulatif = $\frac{100 - \text{persentase tertahan}}{100} \times 100$

$$= \frac{100 - 8,50}{100} \times 100$$

$$= 91,50 \%$$
- Modulus halus butiran = $\frac{\text{total tertinggal kumulatif}}{100}$

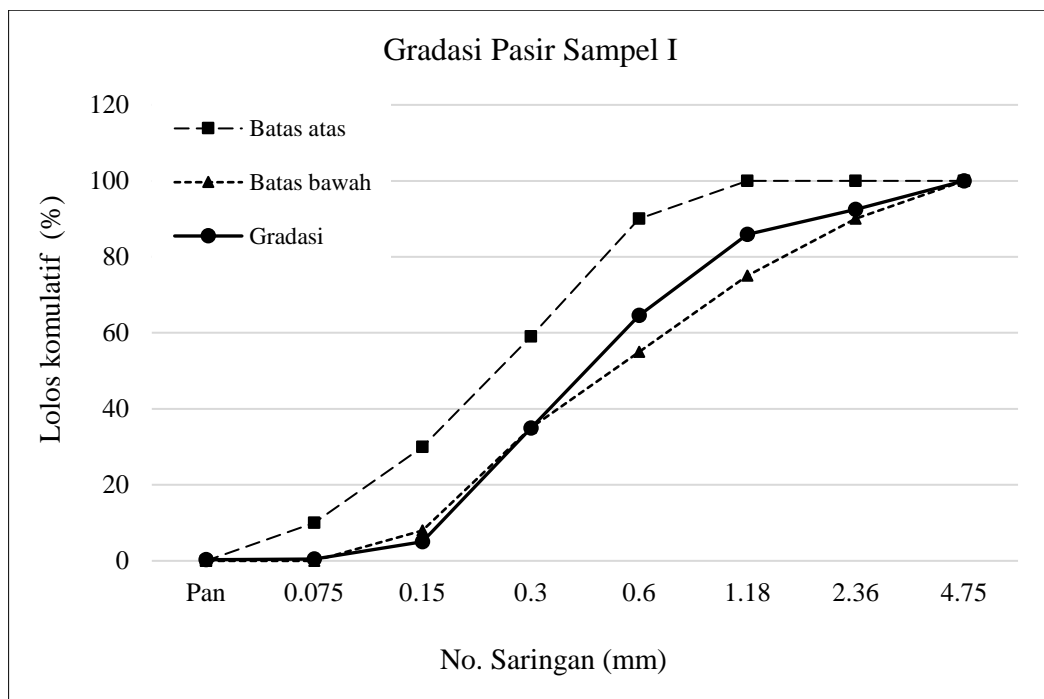
$$= \frac{384,42}{100}$$

$$= 3,84$$

Adapun data - data yang didapatkan dari pengujian analisa saringan untuk sampel I seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.6 serta grafik yang diperlihatkan pada Gambar A.1.

Tabel A.6 Pemeriksaan analisis saringan agregat halus sampel I

Saringan (mm)	Berat saringan (gr)	Berat Saringan + agregat (gr)	Berat material (gr)	% Tertahan	% Tertinggal kumulatif	% Lolos kumulatif
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
Jumlah			1000.00	100.00	412.30	387.70

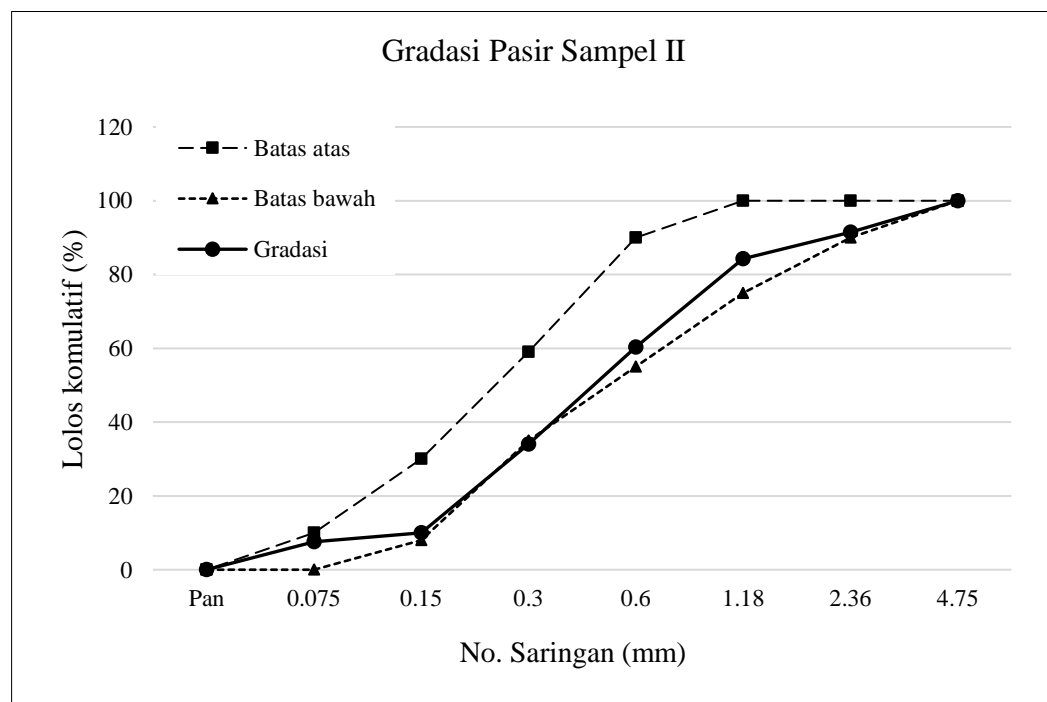


Gambar A.1 Grafik analisis saringan agregat halus sampel I

Adapun data-data yang didapatkan dari pengujian analisa saringan untuk sampel II seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.7 serta grafik yang diperlihatkan pada Gambar A.2.

Tabel A. 7 Pemeriksaan analisis saringan agregat halus sampel II

Saringan (mm)	Berat saringan (gr)	Berat Saringan + agregat (gr)	Berat material (gr)	% Tertahan	% Tertinggal kumulatif	% Lolos kumulatif
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
Jumlah			1000.00	100.00	412.30	387.70

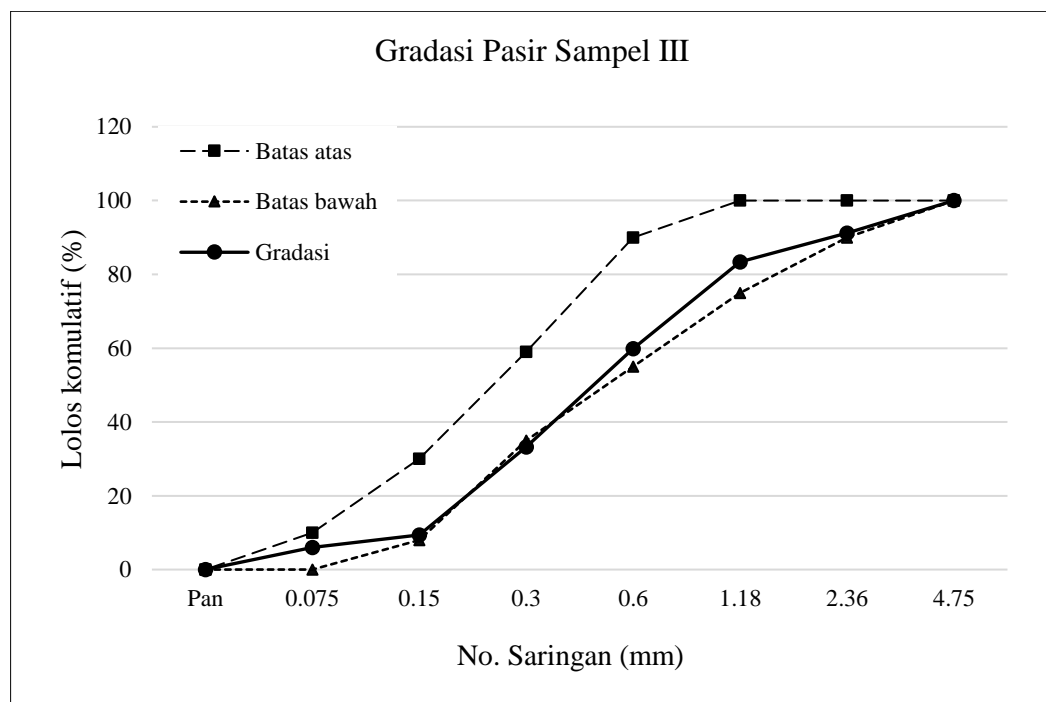


Gambar A.2 Grafik analisis saringan agregat halus sampel II

Adapun data - data yang didapatkan dari pengujian analisa saringan untuk sampel II seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.8 serta grafik yang diperlihatkan pada Gambar A.3.

Tabel A.8 Pemeriksaan analisis saringan agregat halus sampel III

Saringan (mm)	Berat saringan (gr)	Berat Saringan + agregat (gr)	Berat material (gr)	% Tertahan	% Tertinggal kumulatif	% Lolos kumulatif
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
Jumlah			Jumlah	1000.00	100.00	416.90

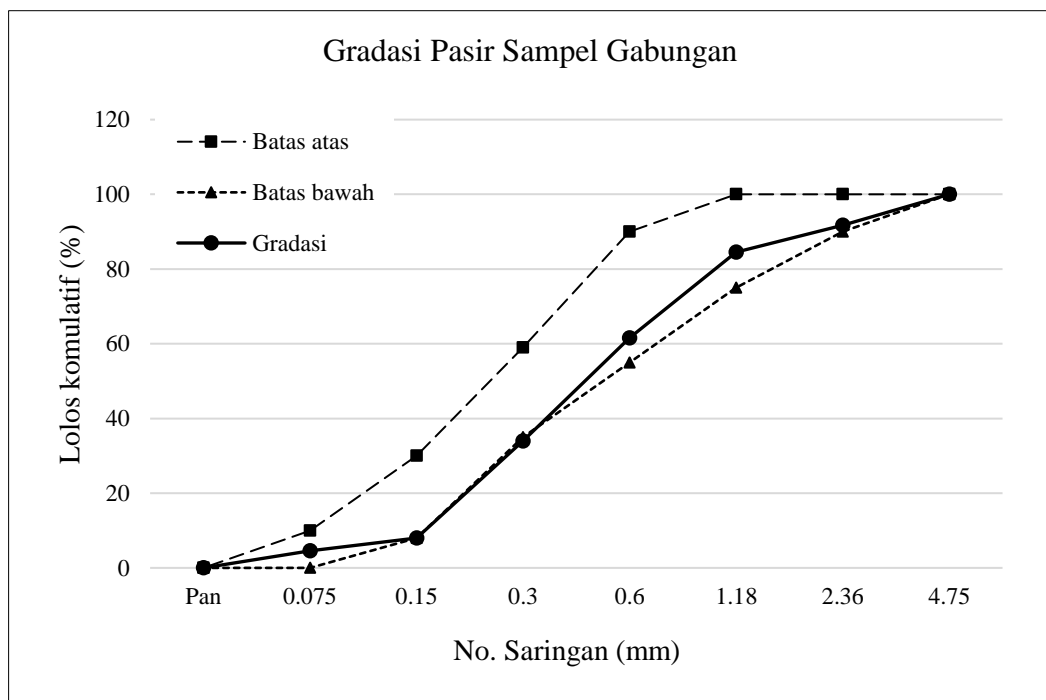


Gambar A.3 Grafik analisis saringan agregat halus sampel III

Adapun data-data yang didapatkan dari pengujian analisa saringan untuk sampel II seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.9 serta grafik yang diperlihatkan pada Gambar A.4.

Tabel A.9 Pemeriksaan analisis saringan agregat halus sampel gabungan

Saringan (mm)	Rata – rata berat tertahan	% Tertahan	% Tertinggal kumulatif	% Lolos kumulatif
4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
2.36	82.67	8.27	8.27	91.73
1.18	72.00	7.21	15.48	84.52
0.6	229.33	22.96	38.44	61.56
0.3	275.67	27.59	66.03	33.97
0.15	259.00	25.93	91.96	8.04
0.075	34.33	3.44	95.40	4.60
Pan	46.00	4.60	100.00	0.00
Jumlah	999.00	100.00	415.58	384.42
MHB			4.2	3.84



Gambar A.4 Grafik analisis saringan agregat halus sampel gabungan III

A.7 Kuat Tekan Mortar

Dibawah ini akan diuraikan perhitungan kuat tekan mortar beton. Perhitungan kuat tekan mortar beton menggunakan persamaan (2.12) sebagai berikut :

Sampel 1 MCNT-1

- Maksimum pembebanan (P) = 54 kN = 54000 N
- Luas permukaan (A) = 50 mm x 50 mm = 2500 mm²

$$\begin{aligned}
 f'c &= \frac{P \text{ maks}}{A} \\
 &= \frac{54000}{2500} \\
 &= 21,6 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Adapun data - data yang didapatkan dari pengujian kuat tekan mortar beton seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.10.

Tabel A.10 Pemeriksaan kuat tekan mortar beton

Nama Sampel	Luas Penampang (mm ²)	P maks (kN)	P maks (N)	Umur Beton (hari)	f'c (MPa)	f'c Rata - rata (MPa)
MNSP	2500	54	54000	28	21,6	21,2
	2500	58	58000	28	23,2	
	2500	47	47000	28	18,8	
MCNT-1	2500	54	54000	28	21,6	22,93
	2500	61	61000	28	24,4	
	2500	57	57000	28	22,8	
MCNT-2	2500	57	57000	28	22,8	26,40
	2500	74	74000	28	29,6	
	2500	67	67000	28	26,8	
MCNT-3	2500	69	69000	28	27,6	27,87
	2500	79	79000	28	31,6	
	2500	61	61000	28	24,4	
MCNT-4	2500	50	50000	28	20	24,27
	2500	75	75000	28	30	
	2500	57	57000	28	22,8	

A.8 Absorpsi Mortar

Dibawah ini akan diuraikan perhitungan absorpsi mortar. Perhitungan absorpsi mortar menggunakan persamaan (2.13) sebagai berikut :

Sampel 1 MCNT-1

- Benda uji kering oven (m_k) = 242,7 gr
- Benda uji jenuh permukaan (m_b) = 263,8 gr

$$\begin{aligned} \text{Absorpsi} &= \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \\ &= \frac{263,8 - 242,7}{242,7} \times 100\% \\ &= 8,694\% \end{aligned}$$

Adapun data - data yang didapatkan dari pengujian absorpsi mortar beton seperti yang diperlihatkan pada Tabel A.11.

Tabel A.11 Pemeriksaan absorpsi mortar beton

Nama Sampel	Massa kering benda uji (m_k)	Massa basah benda uji (m_b)	Absorpsi (%)	Absorpsi Rata – rata (%)
MNSP	239,2	262,1	9,574	9,865
	237,6	263,1	10,732	
	240,1	262,4	9,288	
MCNT-1	242,7	263,8	8,695	8,835
	237,9	259,1	8,911	
	231,5	252,1	8,898	
MCNT-2	241,2	262	8,624	8.661
	237,1	257,7	8,688	
	234,1	254,4	8,672	
MCNT-3	238,3	258,1	8,309	8,250
	240,8	261,1	8,430	
	244,7	264,3	8,010	
MCNT-4	239,5	259.9	8,518	8,573
	252,5	273,8	8,436	
	249,8	271,7	8,767	

LAMPIRAN B

TABEL

Tabel B.1 Persentase kenaikan kuat tekan mortar beton dengan substitusi CNT

No	Nama sampel	Sampel	Luas Penampang (mm ²)	P maks (N)	Umur Beton (hari)	f'c (MPa)	f'c Rata – rata (MPa)	Persentase Peningkatan (%)	
								terhadap MNSP	Setiap Sampel
1	MNSP	I	2500	54000	28	21,6	21,2	0	3,92
		II		58000		23,2			
		III		47000		18,8			
2	MCNT-1	I	2500	54000	28	21,6	22,93	8,18	8,18
		II		61000		24,4			
		III		57000		22,8			
3	MCNT-2	I	2500	57000	28	22,8	26,40	24,53	15,12
		II		74000		29,6			
		III		67000		26,8			
4	MCNT-3	I	2500	69000	28	27,6	27,87	31,45	5,56
		II		79000		31,6			
		III		61000		24,4			
5	MCNT-4	I	2500	50000	28	20	24,27	14,47	-12,92
		II		75000		30			
		III		57000		22,8			

Tabel B.2 Persentase penurunan absorpsi mortar beton dengan substitusi CNT

No	Nama sampel	Sampel	Benda uji kering oven (A)	Benda uji jenuh permukaan (B)	Absorpsi (%)	Absorpsi Rata – rata (%)	Persentase Penurunan (%) terhadap MNSP
1	MNSP	I	239,2	262,1	9,574	9,865	0
		II	237,6	263,1	10,732		
		III	240,1	262,4	9,288		
2	MCNT-1	I	242,7	263,8	8,695	8,835	-10,44
		II	237,9	259,1	8,911		
		III	231,5	252,1	8,898		
3	MCNT-2	I	241,2	262	8,624	8.661	-12,20
		II	237,1	257,7	8,688		
		III	234,1	254,4	8,672		
4	MCNT-3	I	238,3	258,1	8,309	8,250	-16,37
		II	240,8	261,1	8,430		
		III	244,7	264,3	8,010		
5	MCNT-4	I	239,5	259,9	8,518	8,573	-13,09
		II	252,5	273,8	8,436		
		III	231,2	256,7	8,767		

LAMPIRAN C
FOTO KEGIATAN



Gambar C.1 Pengujian sifat fisis agregat halus



Gambar C.2 Pengecoran benda uji



Gambar C.3 Pengukuran *slump flow*



Gambar C.4 Pembuatan benda uji



Gambar C.5 Perawatan benda uji



Gambar C.6 Pengujian kuat tekan

LAMPIRAN D
BIODATA MAHASISWA

1. Personal

Nama : Dinda Arga Putri
Nim : 190110058
Bidang : Struktur
Tempat, tanggal lahir : P. Brandan, 05 Oktober 2001
Alamat : Jl. Tanjung Pura, Pangkalan Brandan, Kel. Pelawi
Utara, Kec. Babalan, Kab. Langkat, Provinsi
Sumatera Utara
No Hp/Telepon : 0895-6113-51609
Email : dindaargaputri05@gmail.com

2. Orang Tua

Nama Ayah : Zakaria
Pekerjaan : Karyawan swasta
Umur : 50 Tahun
Alamat : Jl. Tanjung Pura, Pangkalan Brandan, Kel. Pelawi
Utara, Kec. Babalan, Kab. Langkat, Provinsi
Sumatera Utara

Nama Ibu : Reni Armianti
Pekerjaan : PNS
Umur : 49 Tahun
Alamat : Jl. Tanjung Pura, Pangkalan Brandan, Kel. Pelawi
Utara, Kec. Babalan, Kab. Langkat, Provinsi
Sumatera Utara

3. Pendidikan Formal

Asal SLTA (Tahun) : SMAN 1 Babalan (2016-2019)

Asal SLTP (Tahun) : SMPN 2 Babalan (2013-2016)

Asal SD (Tahun) : SDN 050750 Pkl.Brandan (2007-2013)

4. Pendidikan Non-Formal

Kursus/Penelitian : -

Institut Pelaksana : -

Tanggal Pelaksana : -

5. Software Komputer Yang dikuasai

Jenis Software : Microsoft Office

Tingkat Penguasaan : *)Basic/Intermediate/Advance

Jenis Software : SAP2000

Tingkat Penguasaan : *)Basic/Intermediate/Advance

Jenis Software : AutoCad

Tingkat Penguasaan : *)Basic/Intermediate/Advance

Jenis Software : ArcGis

Tingkat Penguasaan : *)Basic/Intermediate/Advance

Jenis Software : Surfer

Tingkat Penguasaan : *)Basic/Intermediate/Advance