

No. Inventaris : 308.S.01.2024



SKRIPSI

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

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh

Disusun oleh,

KELVIN LIANO DEL ARA

190110004

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MALIKUSSALEH

2024

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kelvin Liano Del Ara

NIM : 190110004

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat bagian atau suatu kesatuan yang 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 reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan 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, 29 Januari 2024

Saya yang membuat pernyataan



Kelvin Liano Del Ara
NIM. 190110004

LEMBARAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan *Carbon Nanotube* terhadap
Kuat Tekan dan Porositas Mortar Beton.
Nama Mahasiswa : Kelvin Liano Del Ara
NIM : 190110004
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., MT
Ketua Penguji : Dr. Ing Sofyan, ST., MT
Anggota Penguji : Fadhliani, ST., M. Eng

Lhokseumawe, 29 Januari 2024

Penulis



Kelvin Liano Del Ara
NIM. 190110004

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



Said Jalalul Akbar, ST., MT
NIP. 197107032002121001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi,



Nura Usrina, ST., MT
NIP. 199004042023212058

Wakil Dekan Bidang Akademik,



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

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah سبحانه و تعالٰى yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Skripsi dengan judul “Pengaruh Penggunaan *Carbon Nanotube* terhadap Kuat Tekan dan Porositas Mortar Beton” dapat diselesaikan. Serta, shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada Nabi besar kita Muhammad ﷺ yang telah membawa kita dari jaman yang gelap gulita menuju ke jaman yang terang benderang seperti sekarang ini.

Dalam menyelesaikan Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak, pada kesempatan ini tak lupa 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., MT, selaku Dekanat Fakultas Teknik.
3. Bapak Dr. Ing Sofyan, ST., MT, selaku Wakil Dekan Bidang Akademik sekaligus Dosen Ketua Penguji.
4. Ibu Cut Azmah Fithri, ST., MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil.
5. Ibu Nura Usrina, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
6. Bapak Mukhlis, ST., MT, selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Bapak Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing penyusunan laporan ini.
8. Bapak Said Jalalul Akbar, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah membantu membimbing penyusunan laporan ini.
9. Ibu Fadhliani, ST., M. Eng selaku Dosen Anggota Penguji.
10. Seluruh dosen pengajar, Teknisi, dan Staff di Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh
11. Kedua orang tua dan keluarga tercinta, yang telah memberikan selalu dukungan dan do'anya kepada penulis.

12. Rekan-rekan seperjuangan yang senantiasa memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan laporan ini.

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, 29 Januari 2024



Kelvin Liano Del Ara
190110004

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kepada Allah ﷻ atas karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat di selesaikan dengan baik. Saya persembahkan skripsi ini untuk:

Keluarga saya, terkhusus untuk ayah saya Mulyadi dan ibu saya Wiwik Widiawati yang tak henti hentinya memberikan dukungan, doa, kasih sayang dan materi yang begitu berarti demi kelancaran dalam penyelesaian skripsi ini.

Serta kakak saya Tari Febrianti, abang saya Yoga Baskara, serta adik adik saya Mochammad Alvin Delano, William Mahda Vikia, Mochammad Farhan Ramadan yang senantiasa mendukung, membantu, dan memberi semangat demi kelancaran penyelesaian perkuliahan dan pengerjaan skripsi ini.

Terimakasih untuk keluarga besar saya yang juga memberikan dukungan baik melalui doa bantuan secara langsung.

Bapak Dr. Maizuar, ST., M.Sc.Eng, Bapak Said Jalalul Akbar, ST., MT, Bapak Dr. Ing Sofyan, ST., MT, dan Ibu Fadhliani, ST., M.Eng, Serta dosen dosen, staff program studi, dan karyawan di lingkungan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh yang telah banyak membimbing, membantu, dan memberikan berbagai kritik dan saran yang membangun sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Semoga ilmu yang diajarkan dapat menjadi amal Jariyah yang akan terus berguna di dunia maupun di akhirat.

Dan untuk teman seperjuangan saya di Angkatan 2019 terkhusus teman penelitian saya Sarah dan Dinda yang telah menjadi teman sekaligus tim yang baik dalam belerka sama dan saling membantu selama penelitian berlangsung. Semoga kita selalu diberikan kebahagiaan dan kesuksesan di masa yang akan datang

Untuk teman saya di grup Kiw Kiw seperti Ikmal, Tiwa, Ditya, Hanny, Goche, Rona yang sudah bersama sama saling membantu dan belajar bareng sejak semester 1 sampai akhir dari perkuliahan ini. Semoga kita semua diberikan kemudahan, kelancaran, kebahagiaan, dan kesuksesan di masa yang akan datang.

Dan untuk teman teman saya Deri, Richard, Tiwa, dan Ikmal yang selalu duduk setiap malam untuk mengerjakan skripsi sambil diskusi dan saling membantu demi kelancaran pengerjaan skripsi ini.

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

Oleh : Kelvin Liano Del Ara

NIM : 190110004

Pembimbing Utama : Dr. Maizuar, S.T., M.Sc. Eng

Pembimbing Pendamping : Said Jalalul Akbar, S.T., M.T

Ketua Penguji : Dr. Ing. Sofyan, S.T., M.T

Anggota Penguji : Fadhliani, S.T., M. Eng

ABSTRAK

Carbon Nanotube (CNT) adalah serat karbon ultra tipis yang diameternya berukuran nanometer dan panjang berukuran mikrometer yang dapat meningkatkan sifat komposit semen secara efektif sehingga perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh dari penggunaan CNT terhadap kuat tekan dan porositas mortar beton dengan kadar CNT yang rendah untuk biaya rendah dan efisiensi. Kekuatan tekan mortar dipengaruhi oleh tingkat porositasnya dimana semakin besar nilai porositas yang dihasilkan oleh mortar maka nilai kuat tekan mortar akan semakin kecil. Hal ini diakibatkan oleh adanya rongga pori pada mortar yang nantinya diharapkan rongga pori tersebut dapat ditutupi oleh carbon nanotube sehingga nilai porositas yang dihasilkan menjadi kecil dan nilai kuat tekan yang dihasilkan menjadi semakin besar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan dan porositas pada mortar beton yang ditambah dengan campuran carbon nanotube. Pada penelitian ini, variasi persentase penggunaan CNT yang digunakan sebesar 0,01%, 0,02%, 0,03%, dan 0,04% dari berat semen, penggunaan SP sebesar 1,5% dari berat semen, FAS yang digunakan sebesar 0,485. Untuk pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan dan porositas. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm. Benda uji yang dibuat berjumlah 3 buah di setiap variasi sehingga total keseluruhan sebesar 18 benda uji. Pengujian dilakukan saat mortar berumur 28 hari. Dari hasil penelitian didapat bahwa hasil kuat tekan optimal terdapat pada variasi CN03 dengan hasil sebesar 27,86 MPa Kemudian pada hasil porositas diperoleh nilai porositas terendah sebesar 15,56% pada variasi CN03.

Kata kunci : carbon nanotube, kuat tekan, porositas

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN ORISINILITAS	i
LEMBARAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian.....	3
1.7 Hasil Penelitian	4
BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN	6
2.1. Mortar.....	6
2.1.1 Sifat-Sifat Mortar	6
2.1.2 Bahan Penyusun Mortar	7
2.2. Carbon Nanotube.....	9
2.2.1 Struktur <i>Carbon Nanotube</i>	10
2.2.2 Sifat-Sifat Carbon Nanotube	13
2.3. Kelecekan (Workability).....	14
2.4. Faktor Air Semen (FAS)	14
2.5. Slump	14
2.6. Kuat Tekan	14
2.7. Porositas	15
BAB III METODE PENELITIAN	16

3.1	Tahapan Pelaksanaan Penelitian	16
3.2	Lokasi Penelitian	17
3.3	Metode Pengumpulan Data	17
3.3.1	Data Primer.....	18
3.3.2	Data Sekunder	18
3.4	Analisis dan Pengolahan Data.....	19
3.4.1	Pembuatan benda uji	20
3.5	Penelusuran Penelitian Terdahulu.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		32
4.1	Hasil Penelitian	32
4.1.1	Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus	32
4.1.2	Pengujian kadar air agregat halus.....	32
4.1.3	Pengujian berat volume agregat halus.....	33
4.1.4	Pengujian analisa saringan dan modulus halus butir.....	33
4.1.5	Pengujian kadar organik.....	34
4.1.6	Pengujian berat jenis semen	35
4.1.7	Rancangan campuran (<i>mix design</i>).....	35
4.1.8	Pengujian <i>slump flow</i>	36
4.1.9	Pengujian kuat tekan	36
4.1.10	Pengujian porositas.....	37
4.2	Pembahasan	38
4.2.1	Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus	38
4.2.2	Pengujian kadar air agregat halus.....	38
4.2.3	Pengujian berat volume agregat halus.....	38
4.2.4	Pengujian analisa saringan	39
4.2.5	Pengujian berat jenis semen	39
4.2.6	Rancangan campuran (<i>mix design</i>).....	40
4.2.7	Pengujian <i>slump flow</i>	40
4.2.8	Pengujian kuat tekan	41
4.2.9	Pengujian porositas.....	43
4.2.10	Pengaruh CNT terhadap kuat tekan dan porositas	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		48

5.1 Kesimpulan.....	48
5.1 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN A PERHITUNGAN	53
LAMPIRAN B TABEL DAN GRAFIK	62
LAMPIRAN C GAMBAR.....	71
LAMPIRAN D BIODATA MAHASISWA	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persentase lolos agregat pada ayakan	8
Tabel 3.1	Data primer	18
Tabel 3.2	Data sekunder.....	19
Tabel 3.3	Variasi campuran mortar.....	20
Tabel 3.4	Penelusuran penelitian terdahulu	30
Tabel 4.1	Berat jenis dan absrobsi agregat.....	32
Tabel 4.2	Kadar air agregat.....	33
Tabel 4.3	Berat volume agregat	33
Tabel 4.4	Berat jenis semen	35
Tabel 4.5	Campuran material untuk pembuatan benda uji	35
Tabel 4.6	Batas batas gradasi agregat halus.....	39
Tabel 4.7	Perbandingan Hasil <i>Slump Flow Test</i>	40
Tabel 4.8	Hasil Uji Kuat Tekan Mortar	42
Tabel 4.9	Perbandingan Uji Kuat Tekan Penelitian Terdahulu	43
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Nilai Porositas Mortar Beton.....	44
Tabel 4.11	Perbandingan Hasil Porositas Mortar Beton.....	45
Tabel B.1	Berat Jenis Agregat Halus	62
Tabel B.2	Kadar Air Agregat Halus.....	62
Tabel B.3	Perhitungan Berat Jenis Semen	63
Tabel B.4	Berat Volume Padat Agregat Halus	63
Tabel B.5	Berat Volume Gembur Agregat Halus	63
Tabel B.6	Analisa Saringan Agregat Halus	64
Tabel B.7	Analisa Saringan Agregat Halus Sampel II.....	65
Tabel B.8	Analisa Saringan Agregat Halus Sampel III	66
Tabel B.9	Analisa Saringan Gabungan	67
Tabel B.10	Berat Pengujian Slump Flow Test.....	68
Tabel B.11	Pengujian Kuat Tekan	69
Tabel B.12	Pengujian Porositas	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur CNT	10
Gambar 2.2	Beberapa bentuk struktur SWNT	11
Gambar 2.3	Struktur MWNT	12
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian.....	17
Gambar 3.2	<i>Superplasticizer</i>	21
Gambar 3.3	<i>Carbon Nanotube</i>	21
Gambar 3.4	<i>Magnetic stirrer</i>	23
Gambar 3.5	Alat pengaduk material	23
Gambar 3.6	Timbangan digital	23
Gambar 3.7	Saringan.....	24
Gambar 3.8	Oven	24
Gambar 3.9	<i>Flow Table</i>	25
Gambar 3.10	<i>Flow Mold</i>	25
Gambar 3.11	Cetakan Bekisting Kubus	25
Gambar 3.12	Mesin Uji Kuat Tekan	26
Gambar 4.1	Analisa Saringan Agregat Halus	34
Gambar 4.2	Pengujian Kadar Organik	34
Gambar 4.3	Pengujian <i>Slump Flow</i>	36
Gambar 4.4	Pengujian Kuat Tekan	37
Gambar 4.5	Pengujian Porositas	37
Gambar 4.6	Pengujian SEM pada mortar tanpa tambahan CNT	46
Gambar 4.7	Pengujian SEM pada mortar dengan tambahan CNT	46
Gambar B.1	Analisa Saringan Agregat Halus Sampel I	64
Gambar B.2	Analisa Saringan Agregat Halus Sampel II.....	65
Gambar B.3	Analisa Saringan Agregat Halus Sampel III.....	66
Gambar B.4	Analisa Saringan Agregat Halus Sampel Gabungan	67
Gambar B.5	Pengujian Slump Flow Test.....	68
Gambar B.6	Persentase Penurunan Porositas.....	70

Gambar C.1	Bimbingan dengan Dosen Pembimbing	71
Gambar C.2	Pengujian Sifat Fisis	71
Gambar C.3	Persiapan Bekisting Kubus	72
Gambar C.4	Persiapan Material Penyusun Mortar	72
Gambar C.5	Pengadukan Material Penyusun Mortar	72
Gambar C.6	Pengujian <i>Slump Flow</i>	73
Gambar C.7	Pencetakan Mortar ke Bekisting Kubus	73
Gambar C.8	Benda Uji	73
Gambar C.9	Penimbangan Benda Uji Kering Permukaan	74
Gambar C.10	Penimbangan Benda Uji di Dalam Air	74
Gambar C.11	Perendaman Benda Uji	74
Gambar C.12	Pengujian Kuat Tekan	75

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

ρ	: Densitas Air (1 mg/m^3)
A	: Luas Penampang (mm^2)
a	: Berat benda uji kering oven di udara (g)
ASTM	: Organisasi internasional sukarela yang mengembangkan standarisasi teknik untuk material, produk, sistem dan jasa
Bj. APP	: Berat jenis agregat semu
Bj. OD	: Berat jenis agregat curah kering oven
Bj. SSD	: Berat jenis agregat kering permukaan
c	: Berat benda uji kering permukaan setelah perendaman (g)
CNT	: Serat karbon ultra tipis yang diameternya berukuran nanometer dan panjang berukuran mikrometer.
CSH	: Kalsium silika hidrat
CTM	: Alat yang digunakan untuk pengujian kuat tekan
d	: Berat benda uji didalam air setelah perendaman (g)
f_c	: Kuat tekan benda uji (MPa)
FAS	: Faktor Air Semen
g_1	: <i>Bulk Density</i> (mg/m^3)
g_2	: <i>Apparent Density</i> (mg/m^3)
MHB	: Modulus Halus Butir Agregat
<i>Mix Design</i>	: Perencanaan campuran
MPa	: <i>Mega Pascal</i>
MWCNT	: <i>Multi Wall Carbon Nanotube</i>
P	: Gaya tekan aksial maksimum (N)
Po	: Porositas (%)
SEM	: <i>Scanning Electron Microscope</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia

Slump flow test : Uji alir material untuk mengetahui kemudahan pengerjaan

SP : *Superplasticizer*

SWCNT : *Single Wall Carbon Nanotube*

Workability : Tingkat kemudahan pengerjaan beton

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi, beberapa peneliti terus meningkatkan sifat-sifat mortar pada beton seperti menambahkan atau menggantikan beberapa bahan tertentu dalam pembuatan mortar. Salah satu contohnya adalah penambahan *carbon nanotube* pada pembuatan mortar beton. Penambahan *carbon nanotube* dalam pembuatan mortar beton dilakukan karena kelemahan mortar yang sering retak akibat adanya ruang kosong (pori) yang kecil dimana pori tersebut bisa ditutupi oleh *carbon nanotube* yang berukuran kecil sehingga kekuatan pada beton bisa meningkat menjadi lebih besar. *Carbon Nanotube* (CNT) adalah serat karbon ultra tipis yang diameternya berukuran nanometer dan panjang berukuran mikrometer. CNT berukuran 10^{-9} m dan memiliki sifat yang unik sehingga menjadi salah satu bahan yang paling aktif di eksplorasi dalam beberapa tahun terakhir. CNT menarik banyak penelitian dan menjadi salah satu nanomaterial paling terkenal karena memiliki sifat yang sangat baik (Anggoro and Saraswati, 2021). Menurut Jha et al., (2016) partikel nano seperti CNT dapat digunakan secara efektif untuk meningkatkan sifat sifat komposit semen dimana CNT dapat membantu semen untuk memproduksi lebih banyak CSH sehingga mempengaruhi kualitas semen.

Kuat tekan adalah sifat mekanis utama pada mortar atau beton yang dapat diketahui dengan penelitian uji tekan di laboratorium terhadap benda uji (Talinusa et al., 2014). Porositas mortar adalah tingkatan yang menggambarkan kepadatan mortar. Porositas dapat mempengaruhi kekuatan tekan mortar dimana semakin besar nilai porositas yang dihasilkan oleh mortar maka nilai kuat tekan pada mortar akan semakin kecil (Sari et al., 2017). Hal ini di akibatkan oleh adanya ruang kosong (pori) pada mortar yang nantinya pori tersebut dapat di tutupi oleh CNT sehingga nilai porositas yang dihasilkan menjadi kecil dan nilai kuat tekan yang dihasilkan

menjadi semakin besar.

CNT adalah fokus dari salah satu bidang penelitian yang paling penting dalam nanoteknologi. Meskipun CNT memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap pengembangan struktur pembangunan, namun kegiatan penelitian terkait penggunaan CNT dengan kadar yang rendah di industri masih terbilang cukup sedikit. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh dari penggunaan CNT terhadap kuat tekan dan porositas mortar beton dengan menggunakan dosis CNT yang sangat rendah untuk biaya rendah dan efisiensi. Serta untuk mencari tahu pada campuran berapa persen nilai kuat tekan mortar yang tertinggi dapat dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan di bahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar nilai kuat tekan yang dihasilkan pada mortar beton yang telah ditambah dengan campuran material CNT.
2. Seberapa besar persentase penurunan nilai porositas yang dihasilkan pada mortar beton yang telah ditambah dengan campuran material CNT.

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan pada mortar beton yang disubstitusi dengan campuran CNT.
2. Untuk mengetahui besarnya persentase penurunan nilai porositas pada mortar beton yang disubstitusi dengan campuran CNT.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Sebagai media informasi dan bahan edukasi mengenai pengaruh penggunaan CNT terhadap kuat tekan dan porositas mortar beton.

2. Sebagai pengembangan teknologi dalam pembuatan mortar beton dengan menggunakan material tambahan berupa CNT.
3. Apabila penelitian ini berhasil dilakukan, CNT diharapkan bisa menjadi bahan pertimbangan sebagai bahan campuran tambahan pada pembuatan mortar beton untuk di tahap selanjutnya, baik itu penggunaan di lapangan maupun sebagai bahan penelitian lebih lanjut untuk kedepannya.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

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

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh
2. Hanya menguji kuat tekan dan porositas pada mortar beton.
3. Pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari.
4. Jenis bahan campuran CNT yang akan digunakan adalah *Multi Wall Nanotube* yang telah di dispersi dengan air.
5. Perencanaan *mix design* merujuk pada peraturan SNI 03-6825-2002 dengan perbandingan semen dan pasir adalah 1 : 2,75
6. Persentase CNT yang digunakan sebesar 0,01%, 0,02%, 0,03%, dan 0,04%.
7. Benda uji berbentuk kubus 5cm x 5cm x 5cm pada pengujian kuat tekan dan porositas.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental di laboratorium. Adapun tahapan dalam pelaksanaan penelitian adalah persiapan bahan dan alat-alat, pengujian bahan campuran CNT pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji, dan pengolahan data untuk mendapatkan hasil penelitian. Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur dari beberapa referensi yang berkaitan dengan judul skripsi yang akan diangkat. Tahapan berikutnya adalah mempersiapkan bahan penyusun material seperti semen portland, semen

portland yang akan digunakan adalah semen portland tipe I dengan merek semen padang, pasir yang akan digunakan adalah pasir yang didapat dari sungai Juli, CNT yang akan digunakan adalah CNT yang telah didispersi oleh air dengan konsentrasi 1 mg/ml. CNT diperoleh dari toko *online* dengan nama Maxlab di Tangerang, Jakarta. *Superplasticizer* yang digunakan sebesar 1,5% dari FAS. Air yang akan digunakan adalah air bersih yang tidak berbau dan tidak berwarna. Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian sifat fisis berupa pengujian berat jenis semen, berat jenis agregat, analisa saringan, berat volume pasir, serta perhitungan *mix design*. Perhitungan *mix design* merujuk pada peraturan SNI 03-6825-2002 dengan catatan sifat fisis yang digunakan merujuk pada SNI 7656 2012. Benda uji yang akan dibuat berupa mortar yang akan dibuat menggunakan cetakan kubus berukuran 5cm x 5cm x 5cm. Variasi benda uji yang akan dibuat pada penelitian berjumlah 5 variasi dengan jumlah benda uji yang akan dibuat pada masing masing variasi berjumlah 3 benda uji. Persentase kandungan CNT yang akan digunakan pada masing masing variasi adalah 0% (mortar normal), 0,01%, 0,02%, 0,03%, dan 0,04%. Kandungan CNT yang digunakan cukup rendah untuk biaya yang rendah dan efisiensinya. Total benda uji yang akan di buat dalam penelitian ini sebanyak 18 sampel. Perawatan benda uji yang dilakukan berupa perendaman selama 28 hari.

1.7 Hasil Penelitian

Dari penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh penggunaan CNT terhadap kuat tekan dan porositas mortar beton, hasil yang di dapat adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan CNT pada mortar beton memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai kuat tekan mortar, dimana mortar mengalami peningkatan nilai kuat tekan seiring dengan penambahan variasi CNT. Variasi yang mendapatkan nilai kuat tekan paling optimal adalah variasi 0,03% dengan nilai rata rata kuat tekan yang di dapat sebesar 27,86 MPa dan persentase kenaikan nilai kuat tekan yang didapat sebesar 31,66%

dari mortar kontrol.

2. Penggunaan CNT pada mortar beton memiliki pengaruh yang terhadap nilai porositas mortar, dimana mortar akan mengalami penurunan nilai porositas seiring dengan penambahan variasi CNT. Variasi yang mendapatkan nilai porositas terendah adalah variasi 0,03% dengan nilai rata rata porositas sebesar 15,56%.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1. Mortar

Menurut Zuraidah and Hastono (2018), mortar adalah adukan dari beberapa campuran material yang terdiri dari pasir sebagai agregat halus, semen sebagai bahan perekat dan air. Pasir berfungsi sebagai pengisi (bahan yang direkat). Meskipun mortar dan beton adalah dua material yang berbeda, tetapi sebenarnya hampir sama dikarenakan beton adalah mortar yang kemudian didalamnya dicampurkan dengan agregat kasar seperti kerikil/batu pecah (Fajrin et al., 2016).

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 halus. 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 dengan cepat dan akan kehilangan ikatan adhesinya. (Zuraidah and Hastono, 2018).

Menurut Tjokrodinuljo (1996), campuran mortar segar yang baik ialah campuran segar yang dapat diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan sehingga tidak ada kecenderungan untuk terjadi pemisahan pasir dari adukan maupun pemisahan air dan semen dari adukan. Sebuah campuran mortar dapat dikatakan baik apabila campuran tersebut membentuk beton atau konstruksi keras yang kuat, tahan lama, dan kedap air.

2.1.1 Sifat-Sifat Mortar

Untuk keperluan penelitian tentang, maka pengetahuan tentang sifat-sifat adukan mortar maupun sifat-sifat mortar setelah mengeras perlu

diketahui. Menurut Zuraidah and Hastono (2018), sifat-sifat dari mortar antara lain:

a. Keawetan (*Durability*)

Merupakan kemampuan bertahan mortar seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi atau kerusakan pada mortar dalam jangka waktu yang telah direncanakan. Dalam hal ini, diperlukan pembatasan nilai faktor air semen (FAS) maupun pembatasan dosis minimum yang digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan.

b. Kuat Tekan

Kuat tekan adalah kemampuan dari mortar untuk memikul atau menahan beban maupun gaya-gaya mekanis sampai terjadi kegagalan. Nilai kuat tekan mortar didapatkan melalui tata cara pengujian menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji sampai benda uji tersebut retak atau hancur.

c. Kelecekan (*workability*)

Kelecekan (*workability*) adalah sifat dari adukan mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pemadatan, dan *finishing*. Dengan kata lain kelecekan adalah besarnya kemudahan kerja pada mortar yang dibutuhkan untuk menghasilkan mortar yang lebih baik.

2.1.2 Bahan Penyusun Mortar

Bahan campuran pada mortar biasanya terdiri dari semen, agregat halus (pasir), dan air. Bahan penyusun mortar juga harus diperhitungkan secara seksama agar memperoleh adukan mortar yang baik sehingga menghasilkan kekuatan yang baik juga.

1. Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah suatu bahan yang mempunyai sifat kohesif dan adhesive apabila bahan ini dicampurkan dengan bahan yang lain maka akan memungkinkan menyatukan menjadi satu kesatuan yang

padat seperti batu sehingga didalam membangun bangunan/konstruksi banyak menggunakan semen portland sebagai bahan pekerjaan beton. Semen portland yang akan digunakan pada penelitian ini adalah semen portland tipe I.

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah semua butiran lolos saringan 4,75 mm. Agregat halus untuk mortar 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. Agregat halus harus memiliki persentase lolos agregat pada ayakan. Adapun susunan lolos agregat pada ayakan adalah seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persentase lolos agregat pada ayakan

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
9,60	100
4,80	95 – 100
2,40	80 – 100
1,20	50 – 85
0,60	25 – 60
0,30	10 – 30
0,15	2 – 10

3. Air

Air yang digunakan untuk pembuatan mortar juga harus memenuhi syarat yang telah ditentukan seperti air yang tidak berbau, air tawar, dan air yang tidak mengandung bahan bahan yang dapat merusak kualitas beton seperti minyak, asam, alkali, dan bahan bahan organik lainnya. Syarat-syarat air yang dapat digunakan untuk bahan bangunan sebagai berikut:

- a. air harus bersih,
- b. air bersih tidak mengandung minyak, lumpur dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- c. air bersih tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dalam air

- dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) tidak boleh lebih dari 15 gram /liter,
- d. air bersih tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram/liter,
 - e. air bersih tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

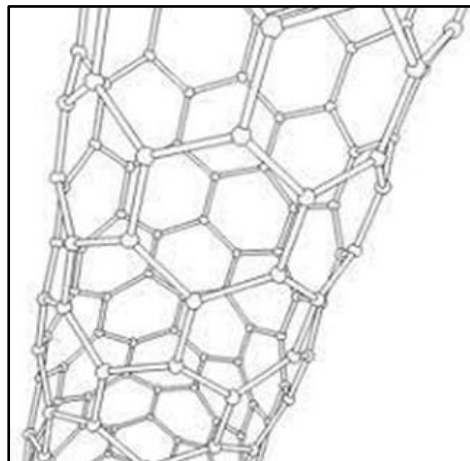
2.2. Carbon Nanotube

Carbon nanotube pertama kali ditemukan pada tahun 1991 oleh Iijima. Banyak peneliti telah berusaha keras untuk membuat material komposit CNT menjadi canggih dengan menunjukkan sifat sifat CNT yang unik. Sebagai pengisi konduktif dalam polimer, CNT cukup efektif jika dibandingkan dengan bahan karbon mikro tradisional (Andrews and Weisenberger, 2004).

CNT adalah salah satu struktur *carbon* yang memiliki bentuk seperti silinder dengan diameter dalam orde nanometer. Salah satu keunikan dari CNT adalah kelebihanannya dalam hal kekuatan, sifat keelektrikannya, dan juga sifat dalam penghantaran panas yang baik. Struktur ini memiliki bermacam bentuk turunan yang masing-masing memiliki sifatnya tersendiri. Keistimewaan CNT membuatnya menjadi harapan baru dalam perkembangan teknologi nano. Struktur CNT yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabil dibandingkan struktur carbon lainnya. Kelebihan ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan struktur bangunan yang kuat. Hal ini dikarenakan CNT memiliki ikatan sp^3 menyerupai struktur di grafit. Ikatan ini lebih kuat dibandingkan dengan struktur ikatan sp^2 yang dimiliki oleh intan. Dengan demikian secara alami carbon nanotube akan membentuk ikatan yang sangat kuat (Mu'minin and Eka Maulana).

Para peneliti telah menemukan bahwa CNT dapat mengisi kekosongan yang terjadi pada beton konvensional. Kekosongan ini memungkinkan air untuk menembus celah-celah yang menyebabkan beton

rapuh, dengan CNT dalam campuran dapat menghentikan celah celah dari tembusan air sehingga beton menjadi lebih kedap terhadap air (Adhikary et al., 2021). Selain itu, CNT juga bisa digunakan untuk keperluan khusus seperti mengukur konduktivitas listrik untuk memonitor kesehatan bangunan. Sebagai indikator beton yang bisa memperbaiki diri sendiri juga merupakan salah satu kelebihan CNT apabila dibandingkan dengan nano silika. CNT juga dapat melapisi kalsium silika hidrat (CSH) serta membantu semen untuk memproduksi lebih banyak CSH sehingga dapat mempengaruhi sifat komposisi pada semen. Hal ini dikarenakan CNT dapat mempengaruhi proses skala nano menjadi struktur CSH pada tingkat molekuler untuk menjaga matriks semen tetap bersatu.



Gambar 2.1 Struktur CNT

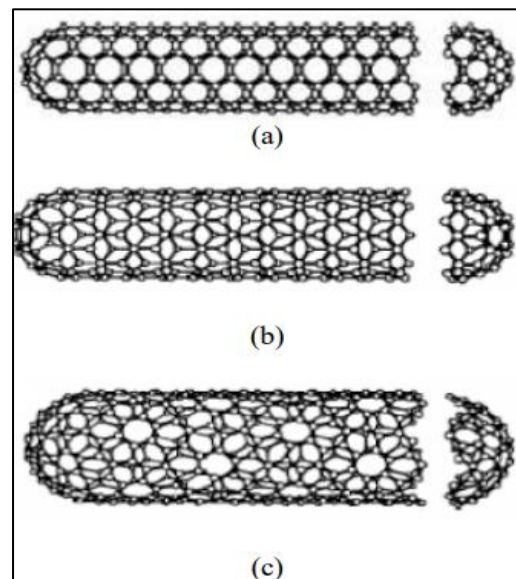
2.2.1 Struktur *Carbon Nanotube*

Struktur CNT yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabilitas dibandingkan struktur *carbon* lainnya. Adapun 4 jenis struktur CNT menurut Mu'minin and Eka Maulana antara lain :

a. *Single Walled Nanotubes* (SWNT)

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

adalah bagian sisi dan bagian kedua adalah bagian kepala. SWNT memiliki beberapa bentuk struktur berbeda yang dapat dilihat bilamana struktur tube dibuka. Adapun contoh gambar beberapa bentuk struktur pada SWNT diperlihatkan pada Gambar 2.2.

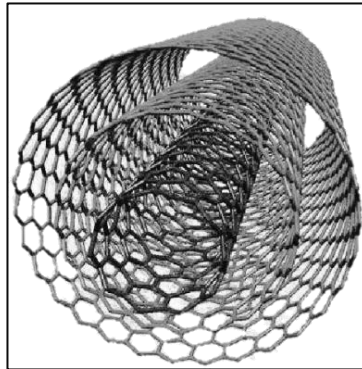


Gambar 2.2 Beberapa bentuk struktur SWNT (a) Struktur *Armchair* (b) Struktur *Zigzag* (c) Struktur *Chiral*

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

b. *Multi Walled Nanotubes* (MWNT)

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



Gambar 2.3 Struktur MWNT

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

c. *Torus*

Bentuk struktur ini masih berupa teoritis. Bentuk torus adalah bentuk struktur melingkar seperti donut. Struktur ini memiliki beberapa sifat yang menonjol seperti momen magnetik yang lebih besar, stabil dalam suhu, dan sebagainya. Sifat ini akan bervariasi tergantung dari diameter torus dan diameter dari nanotube.

d. *Peapod*

Struktur ini cukup unik karena terdapat molekul C_{60} yang terbungkus di tengah nanotube dan biasanya membentuk karbon amorf (karbon reaktif yang tidak memiliki struktur kristal) yang ketika dipanaskan hingga suhu tinggi di dalam tabung nano karbon, mereka malah bergabung secara berurutan membentuk SWNT lain sehingga menciptakan tabung nano karbon yang berdinding ganda.

2.2.2 Sifat-Sifat Carbon Nanotube

a. Konduktivitas Listrik dan Panas

Sifat keelektrikan yang dimiliki oleh CNT ditentukan oleh struktur yang dimilikinya. Struktur ini menyangkut diameter dan bagaimana tube "digulung" menjadi *nanotube*. Ketika *nanotube* bersifat sebagai konduktor, *nanotube* memiliki konduktivitas yang sangat tinggi. Diperkirakan pada saat *nanotube* bersifat sebagai konduktor maka ia mempunyai konduktivitas listrik sebesar 1 milyar Ampere per 1 cm^2 . Hal ini tidak mungkin terjadi pada bahan tembaga karena akan terjadi panas yang dapat melelehkan tembaga. Pada *nanotube* tidak akan terjadi panas yang tinggi karena hambatan yang rendah. *Nanotube* juga memiliki konduktivitas panas yang baik. Hal ini yang kemudian *nanotube* diberi sebutan *ballistic conduction*. *Nanotube* memiliki kemampuan untuk mentransmisikan 6000 W/m/K di suhu ruangan (pada tembaga hanya 385 W/m/K). Selain itu *nanotube* tetap stabil hingga suhu 2800°C di ruang hampa udara dan sekitar 750°C di udara bebas.

b. Kekuatan Mekanik

Nanotube memiliki modulus elastik dan sifat peregangan yang sangat baik. Sifat ini karena ikatan sp^2 yang dimiliki oleh carbon nanotube ini. Tipe MWNT dapat menangani hingga 63 GPa regangan yang diberikan padanya (pada baja carbon terbaik saat ini hanya mampu menahan peregangan hingga 1.2 GPa). Sedangkan modulus elastik yang dimiliki oleh *nanotube* dapat mencapai 1 TPa. Saat ini telah diketahui pula *nanotube* memiliki kekuatan hingga 48462 kN.m/kg (dibandingkan baja carbon terbaik hanya 154 kN.m/kg).

c. Sifat Vibrasi

Atom memiliki pola getaran yang kontinue dan periodik. Pada MWNT, dimana beberapa *nanotube* saling terpola satu di dalam yang lain, memperlihatkan bahwa pada lapisan yang di dalam akan bergetar sedemikian hingga mendekati pola gerakan yang berputar sempurna

tanpa adanya gesekan dengan lapisan di atasnya. Pendekatan ini kemudian dapat dikembangkan menjadi motor dalam skala nanometer. Pergetaran ini sangat ditentukan oleh diameter dari *nanotube* (McKelvey, 2018).

2.3. Kelecekan (Workability)

Kelecekan beton adalah tingkat kemudahan campuran beton untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan (*Concrete workability*) Sifat kemudahan dikerjakan pada campuran beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jumlah air, faktor air-semen yang digunakan, jumlah agregat dalam campuran beton, dan ukuran butiran agregat serta gradasinya (Ximenes et al., 2021).

2.4. Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen (FAS) atau *water cement ratio* (WCR) adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton karena FAS merupakan perbandingan jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran beton (Ximenes et al., 2021).

2.5. Slump

Slump merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kelecekan pada beton. Adukan beton dikatakan mudah pengerjaannya bila nilai *slump* tersebut masih dalam batas nilai *slump* rencana (Ximenes et al., 2021).

2.6. Kuat Tekan

Menurut Hardagung et al., (2014), kekuatan tekan merupakan kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Berdasarkan SNI kuat tekan didefinisikan sebagai besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kekuatan tekan benda uji beton dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Di mana :

σ_c : Kuat tekan beton (MPa)

P : Kuat tekan maksimum pada contoh beton (kN)

A : Luas permukaan pada benda uji (cm²)

2.7. Porositas

Menurut Nugroho (2010), porositas adalah besarnya persentase ruang ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton dan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kekuatan beton. Pori pori beton biasanya berisi udara atau air yang saling berhubungan dan dinamakan dengan kapiler beton. Kapiler beton akan tetap ada walaupun air yang digunakan telah menguap, sehingga kapiler ini akan mengurangi kepadatan beton yang dihasilkan. Dengan bertambahnya volume pori maka nilai porositas juga akan semakin meningkat dan hal ini memberikan pengaruh buruk terhadap kekuatan beton. Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui nilai persentase pori pori beton terhadap volume bton.

Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan porositas mortar beton sesuai dengan aturan ASTM C 642-90, (1994) adalah sebagai berikut:

$$P_o = \frac{(c-a)}{(c-d)} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

Di mana :

P_o : Porositas (%)

a : Berat benda uji kering oven di udara (g)

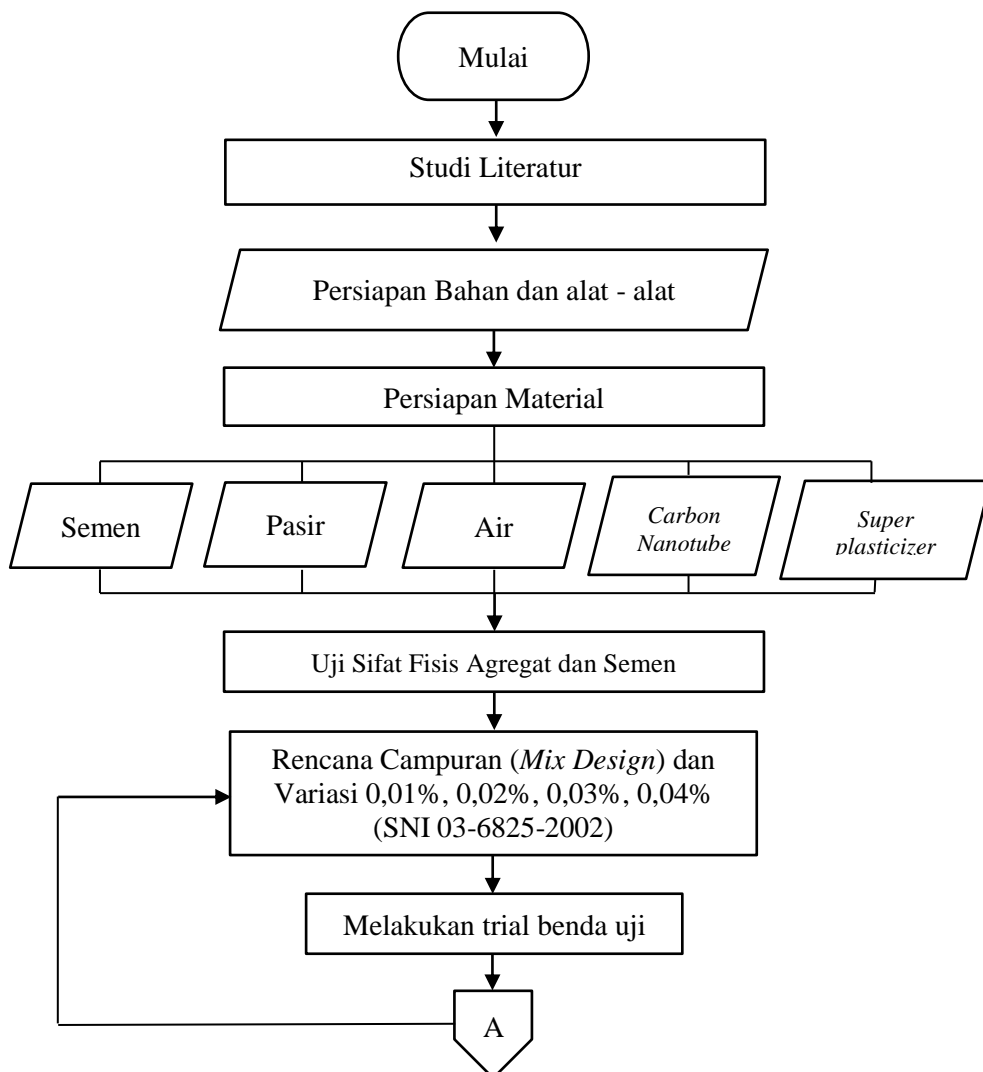
c : Berat benda uji kering permukaan setelah perendaman (g)

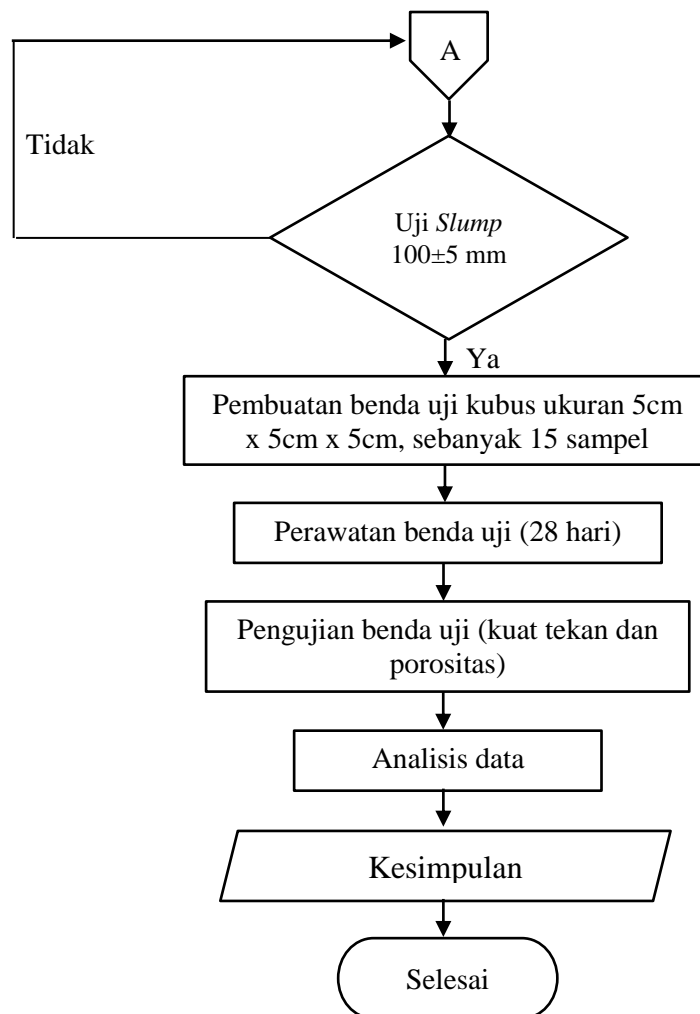
d : Berat benda uji dalam air setelah perendaman (g)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui eksperimen dengan pengumpulan data. Tujuannya untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kuat tekan mortar dengan menggunakan bahan campuran CNT. Dalam penelitian ini akan dianalisis sifat fisisnya, pengujian tersebut meliputi, uji berat jenis dan penyerapan agregat, uji kadar air, uji kadar lumpur, *mix design*, dan uji kuat tekan. Adapun diagram alir tahapan penelitian diperlihatkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini nantinya akan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Bukit Indah. Dilakukan secara berkala sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini perlu dilakukan dengan baik dan benar agar data yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan. Penelitian ini memerlukan dua jenis data yakni data primer dan data sekunder. Data data ini sendiri dapat diperoleh secara langsung melalui pengujian di

Laboratorium maupun dari beberapa sumber yang lainnya seperti jurnal buku bacaan, laporan, serta instansi dari pemerintah.

3.3.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari sumber datanya dan sebelum menggunakannya harus dilakukan terlebih dahulu pengolahan data. Pada penelitian ini data primer didapatkan dari hasil pengujian sifat fisis dan sifat mekanis material yang akan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh. Data data primer diuraikan seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data primer

No	Data	Notasi	Cara Perolehan Data	Kegunaan
1	Sifat fisis			
	Berat jenis semen	W	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Berat jenis agregat halus	W	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
	Luas penampang beton	A	Pemeriksaan laboratorium	Mengetahui sifat fisis material
2	Sifat mekanis			
	Kuat tekan	σ_c	Pemeriksaan laboratorium	Memperoleh nilai kuat tekan
	Porositas	voids	Perhitungan data laboratorium	Memperoleh nilai porositas mortar

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari berbagai sumber yang telah ada. Data ini dapat langsung digunakan pada sebuah penelitian. Data sekunder dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti buku bacaan, jurnal, laporan, Instansi Pemerintahan, dan lain lain. Data ini juga berfungsi sebagai pendukung data primer yang nantinya akan digunakan pada

penelitian ini. Data data sekunder seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data sekunder

No	Data	Sumber	Perolehan Data	Kegunaan
1	Cara uji kuat tekan mortar beton	(SNI 1974-2011)	Studi literatur	Menghitung nilai kuat tekan beton
2	Metode pengujian dan perhitungan porositas	(ASTM C 642-90, 1994)	Studi literatur	Menghitung nilai porositas mortar beton
3	Metode pengujian kadar air agregat	(SNI 03-1971-1990)	Studi literatur	Menghitung kadar air agregat

3.4 Analisis dan Pengolahan Data

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

Pada penelitian ini menggunakan sampel mortar beton dengan campuran CNT sebanyak 15 sampel untuk kuat tekan dan 15 sampel untuk porositas. Benda uji dalam bentuk kubus dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm. Pada benda uji ini dibuat dengan menambahkan variasi pada CNT sebesar 0,01%, 0,02 %, 0,03%, dan 0,04%. Digunakan rasio 1 : 2,75 untuk semen dan pasir, sedangkan untuk nilai rasio air semen atau dikenal dengan Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,485%. Pada hal ini menentukan nilai persentase atau komposisi masing masing pada komponen material pembentuk mortar untuk memperoleh suatu campuran mortar yang memenuhi kekuatan dan keawetan yang direncanakan, serta memiliki keletakkan yang sesuai dengan proses pengerjaan.

Tabel 3.3 Variasi campuran mortar

Variasi	Campuran <i>Carbon Nanotube</i>	SP (%)	FAS	Jumlah Sampel Kuat Tekan dan Porositas
1	0 %	0	0,485	3
2	0 %	1,5	0,485	3
3	0,01%	1,5	0,485	3
4	0,02%	1,5	0,485	3
5	0,03%	1,5	0,485	3
6	0,04%	1,5	0,485	3
Jumlah benda uji				18

3.4.1 Pembuatan benda uji

Sebelum dilakukannya pembuatan benda uji, ada beberapa tahapan yang harus diperhatikan dengan baik dan benar. Perencanaan campuran pada benda uji merujuk pada peraturan SNI 03-6825-2002 dengan perbandingan semen dan air adalah 1 : 2,75. Untuk SP yang digunakan sebesar 1,5% dari berat semen dan pada CNT menggunakan variasi 0,01%, 0,02%, 0,03%, dan 0,04%. Benda uji harus dirancang dengan proporsi bahan bahan campurannya agar dapat menghasilkan kuat tekan rata rata yang ingin dicapai Harahap and Hariyanto, (2013).

1. Material dan peralatan

Untuk membuat benda uji, diperlukan peralatan dan material material penyusun yang akan digunakan selama pembuatan benda uji berlangsung.

a. Material penyusun benda uji

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa material material penyusun yang dibutuhkan, yaitu :

- Semen portland

Semen portland yang digunakan di penelitian ini adalah semen portland tipe I (jenis biasa) dengan merk semen yang digunakan adalah Semen Padang.

- Pasir

Pasir yang digunakan di penelitian ini merupakan pasir alami yang didapatkan dari sungai juli.

- *Superplasticizer (SP)*

SP yang digunakan sebagai material campuran yang akan dimasukkan kedalam mortar segar yang berfungsi untuk meningkatkan nilai kelecakan pada mortar.



Gambar 3.2 *Superplasticizer*



Gambar 3.3 *Carbon Nanotube*

- Air

Air yang digunakan di penelitian ini merupakan air yang bersih, tidak berwarna, serta tidak mengandung bahan kimia yang dapat

menyebabkan kerusakan pada beton.

- *Carbon nanotube*

Carbon nanotube yang digunakan sebagai material campuran pada mortar beton adalah jenis *multi walled nanotube* yang telah didispersi. CNT yang digunakan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.3.

b. Peralatan

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji, seperti :

- *Magnetic stirrer*

Magnetic stirrer digunakan sebagai alat yang akan mengaduk atau mencampur larutan carbon nanotube dengan air dan dengan bantuan *stir bars* yang akan berputar di dalamnya. *Magnetic stirrer* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.4.

- Alat pengaduk material

Alat pengaduk material ini digunakan sebagai alat yang akan mengaduk atau mencampur seluruh material penyusun mortar sehingga dapat menjadi mortar yang sesuai dengan yang direncanakan. Alat pengaduk material yang digunakan sesuai dengan SNI 03-6825-2002 dan dapat dilihat pada Gambar 3.5.

- Timbangan digital

Timbangan digital digunakan sebagai alat penimbang bahan material. Timbangan digital yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 gr sebagai alat untuk mengukur berat dari material yang akan digunakan. Timbangan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.6.

- Saringan

Saringan digunakan sebagai alat pemisah agregat halus yang akan digunakan pada penelitian ini. Saringan yang akan digunakan di

penelitian ini adalah saringan lolos ayakan no. 4, 8, 16, 30, 50, dan 100. Saringan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.7



Gambar 3.4 *Magnetic stirrer*



Gambar 3.5 Alat pengaduk material



Gambar 3.6 Timbangan digital



Gambar 3.7 Saringan

- Oven

Oven adalah alat yang digunakan sebagai alat pengering kadar air yang terkandung didalam agregat yang akan digunakan. Selain itu, pada penelitian ini oven juga digunakan untuk pengujian porositas dimana benda uji dikeringkan didalam oven selama 24 jam pada suhu 110°C. Oven yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Oven

- *Mini slump flow table*

Mini slump flow digunakan pada pengujian *workability* dan kelayakan pada mortar. Pada pengujian *slump flow* diperlukan juga alat tambahan berupa *flow mold*. *Flow table* dan *flow mold* dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan 3.10.



Gambar 3.9 *Flow Table*



Gambar 3.10 *Flow Mold*

- Cetakan bekisting kubus 5 x 5 x 5 cm
Cetakan kubus ini digunakan sebagai bekisting penempatan mortar segar setelah selesai diaduk pada pengujian kuat tekan.



Gambar 3.11 Cetakan Bekisting Kubus

- Mesin pengujian kuat tekan

Mesin pengujian kuat tekan digunakan sebagai alat untuk mengetahui nilai kuat tekan pada mortar beton yang telah direncanakan.



Gambar 3.12 Mesin Uji Kuat Tekan

2. Tahapan pembuatan campuran benda uji

Dalam penelitian ini, terdapat tahapan pembuatan campuran benda uji yang harus dilakukan dengan baik dan benar agar dapat membuat benda uji dengan hasil yang terbaik.

- Masukkan air dan material campuran *carbon nanotube* lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* selama ± 45 menit.
- Bahan material campuran telah selesai dan siap digunakan.

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

Pemilihan campuran beton dilakukan untuk mengetahui proporsi dari setiap bahan material yang akan digunakan di penelitian. Beberapa tahapan dalam pemilihan campuran mortar beton adalah menghitung kuat tekan rata-rata, pemilihan factor air semen (FAS), mencari nilai slump, mencari nilai kadar air, berat jenis agregat, serta menentukan proporsi campuran beton. Adapun perencanaan *mix design* yang akan digunakan pada penelitian ini merujuk pada (SNI 03-6825-2002).

4. Benda uji

Benda uji yang nantinya akan dibuat setelah perencanaan campuran beton selesai adalah sebanyak 15 sampel. Sebelum membuat benda uji, langkah awal yang harus dipersiapkan adalah mempersiapkan bekisting

yang akan digunakan yaitu bekisting beton kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm. Untuk bahan yang digunakan pada pembuatan benda uji adalah semen portland tipe 1, pasir, air, dan material campuran CNT. Persentase kandungan CNT yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 0,01%, 0,02%, 0,03%, dan 0,04%. Kandungan CNT yang digunakan cukup kecil dikarenakan CNT yang digunakan pada penelitian ini adalah CNT yang telah didispersi oleh air dengan konsentrasi 1 mg/ml. Penelitian dapat dilakukan menggunakan kandungan CNT yang lebih besar apabila CNT dispersi yang dijual di pasaran memiliki konsentrasi CNT yang lebih tinggi. Hal ini juga yang menjadi bahan pertimbangan di penelitian ini sehingga lebih memilih menggunakan mortar sebagai benda uji dibandingkan dengan beton.

5. Pengujian *slump flow*

Berdasarkan SNI 03-1971-1990, tentang metode pengujian *slump flow* beton bahwa dalam melakukan *slump flow test* harus melalui beberapa tahapan, yaitu :

- a. Basahi cetakan dan letakkan di atas permukaan datar, lembab, tidak menyerap air dan kaku. Cetakan harus ditahan secara kokoh di tempat selama pengisian, oleh operator yang berdiri di atas bagian injakan.
- b. Padatkan setiap lapisan dengan 25 tusukan menggunakan batang pemadat. Sebarkan penusukan secara merata di atas permukaan setiap lapisan. Untuk lapisan bawah akan ini akan membutuhkan penusukan secara miring dan membuat sekira setengah dari jumlah tusukan dekat ke batas pinggir cetakan, dan kemudian lanjutkan penusukan vertikal secara spiral pada seputar pusat permukaan. Padatkan lapisan bawah seluruhnya hingga kedalamannya. Hindari batang penusuk mengenai pelat dasar cetakan. Padatkan lapisan kedua dan lapisan atas seluruhnya hingga kedalamannya, sehingga penusukan menembus batas lapisan di bawahnya.
- c. Dalam pengisian dan pemadatan lapisan atas, lebihkan adukan beton di atas cetakan sebelum pemadatan dimulai. Bila pemadatan

menghasilkan beton turun dibawah ujung atas cetakan, tambahkan adukan beton untuk tetap menjaga adanya kelebihan beton pada bagian atas dari cetakan. Setelah lapisan atas selesai dipadatkan, ratakan permukaan beton pada bagian atas cetakan dengan cara menggelindingkan batang penusuk di atasnya. Lepaskan segera cetakan dari beton dengan cara mengangkat dalam arah vertikal secara-hati-hati. Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Selesaikan seluruh pekerjaan pengujian dari awal pengisian hingga pelepasan cetakan tanpa gangguan, dalam waktu tidak lebih dari 2 ½ menit.

- d. Setelah beton menunjukkan penurunan pada permukaan, ukur segera slump dengan menentukan perbedaan vertikal antara bagian atas cetakan dan bagian pusat permukaan atas beton.

6. Perawatan benda uji

Apabila benda uji telah selesai dibuat, maka langkah selanjutnya adalah menunggu selama 24 jam. Setelah itu, lepaskan bekisting dan timbang terlebih dahulu benda uji sebelum melakukan perawatan pada benda uji. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara merendam benda uji kedalam air yang ada di dalam bak perendaman. Perawatan benda uji ini bertujuan untuk menjaga kelembapan benda uji dan juga untuk memaksimalkan kekuatan benda uji tersebut. Perawatan benda uji ini akan dilakukan selama 28 hari. Setelah 28 hari, benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan lakukan penimbangan kembali dengan tujuan untuk mengetahui berat benda uji setelah dilakukannya perendaman.

7. Pengujian benda uji

Pengujian pada benda uji akan dilakukan setelah umur benda uji mencapai 28 hari menggunakan mesin uji kuat tekan (*compression testing machine*).

a. Pengujian kuat tekan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya beban maksimum (P) pada saat beban hancur menggunakan alat uji kuat tekan.

Berdasarkan (SNI 1974-2011), langkah langkah pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut :

- Benda uji diletakkan pada alat uji kuat tekan
- *Compression testing machine* (CTM) diatur tepat pada posisi nol.
- CTM dinyalakan kemudian lihat nilai penunjuk beban sampai benda uji hancur.
- Besar nilai beban kuat tekan maksimum dicatat, kemudian digunakan untuk menghitung nilai kuat tekan pada mortar beton.

b. Pengujian porositas

Pengujian porositas bertujuan untuk memastikan tingkat kepadatan yang dipengaruhi oleh kuantitas pori pori pada benda uji. Menurut aturan ASTM C 642-90, (1994), langkah langkah pengujian porositas adalah sebagai berikut :

- Setelah melakukan perendaman benda uji selama 28 hari, masukkan dan keringkan benda uji di dalam oven dengan suhu 100-110°C selama ± 24 jam. Setelah dikeringkan selama 24 jam didalam oven, benda uji dikeluarkan dan dibiarkan dingin di udara kering, lalu benda uji ditimbang.
- Setelah benda uji kering oven ditimbang, benda uji dimasukkan ke dalam air dan timbang berat benda uji didalam air.
- Setelah benda uji didalam air ditimbang, lap permukaan benda uji dengan kain lalu timbang benda uji kering permukaan.
- Setelah semua langkah diatas dilakukan, selanjutnya melakukan perhitungan data dengan menggunakan rumus sesuai dengan aturan ASTM C 642-90

3.5 Penelusuran Penelitian Terdahulu

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

Tabel 3.4 Penelusuran penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian	Peneliti	Metode Penelitian	Output
1	Influence of carbon nanotube on properties of concrete	Zhang et al., 2023	Metode penelitian menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode eksperimen di laboratorium	CNT menunjukkan kualitas yang baik pada suhu tinggi. Hasil uji kuat tekan beton dengan penambahan variasi CNT meningkat sebesar 21% pada umur 28 hari.
2	Analisis Kekuatan Mekanik dan Karakteristik Beton Dengan Tambahan Carbon Nanotube dari Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Bahan Konstruksi Potensial	Machmudah, 2021	Metode yang digunakan adalah metode Chemical Vapour Deposition (CVD)	Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan 0,1 % CNT pada beton dapat meningkatkan kuat tekan pada beton sebesar 5%, kuat lentur 50%, dan Modulus elastisitas 55% dibandingkan beton normal tanpa penambahan variasi CNT
3	Pengaruh Penggunaan Carbon Nanotube (CNT) terhadap	Sunarno et al., 2022	Metode penelitian menggunakan metode penelitian kuantitatif	Berdasarkan hasil pengujian workability dan kuat tekan, menunjukkan bahwa penggunaan admixture berbasis CNT (adm-2) lebih efektif dalam meningkatkan

	Kinerja Beton		dengan menggunakan metode eksperimen di laboratorium	nilai kelecakan dan kuat tekan beton yaitu 0.49%, Penambahan dosis CNT akan menambah nilai slump dan kuat tekannya.
4	Evaluation of Carbon Nanotube Incorporation in Cementitious Composite Materials	Evangelista et al., 2019	Metode penelitian menggunakan metode eksperimen di laboratorium	Penambahan 0,4% CNT dari berat semen menghasilkan mortar semen dengan kinerja terbaik dibandingkan dengan mortar kontrol, peningkatan kuat tekan yang dicapai sekitar 40%. Sementara untuk nilai porositasnya mengalami penurunan saat mortar ditambahkan dengan 0,4% CNT.
5	Carbon Nanotube and Nanofiber Reinforcement for Improving The Flexural Strength and Fracture Toughness of Portland Cement Paste	Tyson, 2012	Metode penelitian menggunakan metode eksperimen di laboratorium	Penambahan 0,2% CNT dari berat semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada mortar dengan persentase kenaikan sebesar 37% dari mortar kontrol.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian dapat diperoleh apabila semua rangkaian proses pengujian dan analisis data telah dilakukan. Hasil dari penelitian ini terdiri dari pengujian sifat fisis material dan pengujian sifat mekanis mortar beton. Pengujian sifat fisis material terdiri dari kehalusan semen, berat jenis semen, analisa saringan agregat, berat jenis agregat, berat volume gembur/padat agregat, dan kadar air agregat. Pengujian sifat mekanis mortar terdiri dari pengujian kuat tekan dan porositas mortar beton.

4.1.1 Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis dan persentase air yang dapat diserap oleh agregat halus terhadap berat jenis agregat kering oven (Bj. OD), berat jenis agregat kering permukaan (Bj. SSD), dan berat jenis agregat semu (Bj. APP).. Hasil pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan hasil perhitungan pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus dapat dilihat pada Lampiran A.1.3.

Tabel 4.1 Berat jenis dan absorpsi agregat

Sampel	Berat jenis			Absorpsi 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	2,5999	2,6421	2,7143	1,6271

4.1.2 Pengujian kadar air agregat halus

Pengujian kadar air agregat halus bertujuan untuk mengetahui

banyaknya air yang terkandung didalam agregat. Dalam pengujian ini, didapat nilai rata-rata untuk kadar air agregat halus sebesar 0,45%. Hasil pengujian kadar air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan hasil perhitungan kadar air agregat halus dapat dilihat pada Lampiran A.1.2.

Tabel 4.2 Kadar air agregat

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

4.1.3 Pengujian berat volume agregat halus

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui dan menentukan nilai per satuan volume agregat halus. Hasil pengujian berat volume agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan hasil perhitungan berat volume agregat halus dapat dilihat pada Lampiran A.1.4.

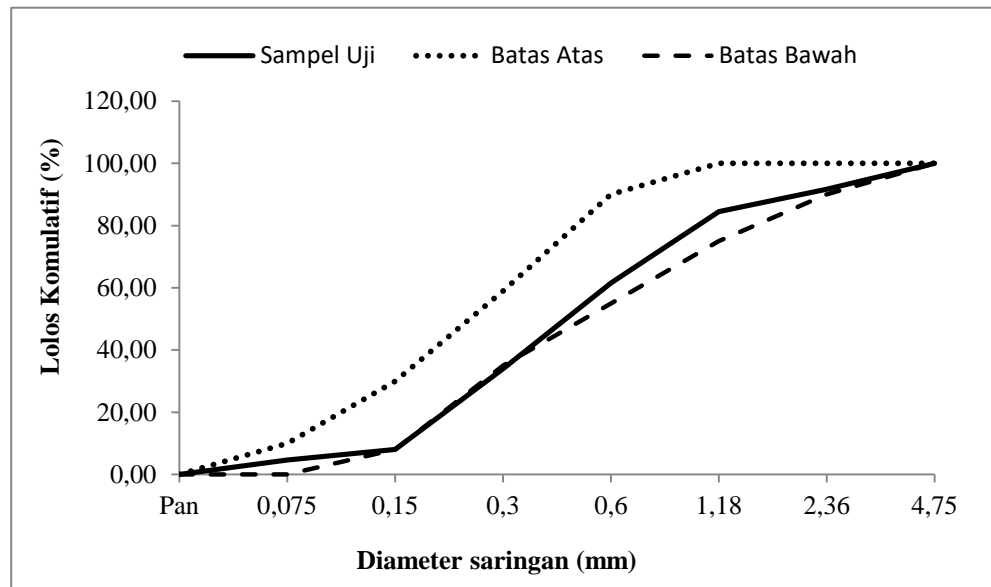
Tabel 4.3 Berat volume agregat

Sampel	Berat volume gembur (kg/m³)	Berat volume padat (kg/m³)
I	1,484	1,522
II	1,481	1,517
III	1,474	1,514
Rata-rata	1,480	1,518

4.1.4 Pengujian analisa saringan dan modulus halus butir

Analisa saringan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ukuran dan gradasi butiran agregat halus dari yang terkecil sampai yang terbesar dengan menggunakan saringan. Analisa saringan dilakukan dengan menggunakan saringan nomor 4 (4,75 mm), 8 (2,36 mm), 16 (1,18 mm), 30 (0,600 mm), 50 (0,300 mm), 100 (0,150 mm), dan 200 (0,075 mm). setelah

dilakukan pengujian, didapatkan nilai rata-rata modulus halus butir (MHB) agregat halus sebesar 3,84 dimana nilai rata rata MHB tersebut masuk dalam zona II berdasarkan (SNI 7656 2012, 2012). Grafik analisis saringan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Analisa Saringan Agregat Halus

4.1.5 Pengujian kadar organik

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



Gambar 4.2 Pengujian Kadar Organik

4.1.6 Pengujian berat jenis semen

Pengujian ini dilakukan untuk mencari nilai berat jenis semen sebagai bahan pengikat dalam campuran mortar. Setelah melakukan pengujian berat jenis semen, maka didapat hasil rata-rata berat jenis semen sebesar 3,061. Hasil pengujian berat jenis semen dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan hasil perhitungan berat jenis semen dapat dilihat pada Lampiran A.1.1.

Tabel 4.4 Berat jenis semen

Sampel	Berat jenis semen
I	3,094
II	2,965
III	3,125
Rata-rata	3,061

4.1.7 Rancangan campuran (*mix design*)

Rancangan campuran (*mix design*) pada mortar dilakukan untuk menentukan seberapa banyak material yang akan digunakan dalam campuran beton. Material yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah semen, pasir, air, *carbon nanotube*, dan *superplasticizer*. Penelitian ini menggunakan acuan dari SNI 03-6825-2002 sebagai pedoman rencana campuran. Banyaknya material yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan untuk perhitungan kadar CNT yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran A.1.5.

Tabel 4.5 Campuran material untuk pembuatan benda uji

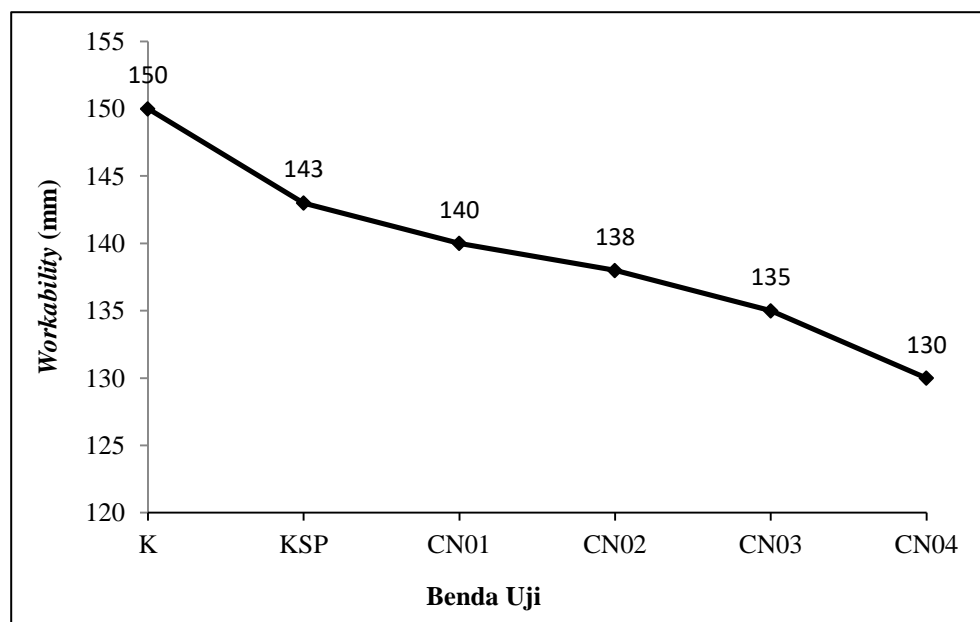
No	Variasi	Semen (gr)	Pasir (gr)	Air (gr)	Carbon Nanotube (mg)	SP (gr)	Jumlah benda uji
1	K	250	687,5	121	-	-	3
2	KSP	250	687,5	121	-	3,75	3
3	CN01	250	687,5	96	25	3,75	3
4	CN02	250	687,5	71	50	3,75	3
5	CN03	250	687,5	46	75	3,75	3
6	CN04	250	687,5	21	100	3,75	3

Di mana :

K	: Mortar normal
KSP	: Mortar normal + SP
CN01	: Mortar normal + SP + 0,01% CNT
CN02	: Mortar normal + SP + 0,02% CNT
CN03	: Mortar normal + SP + 0,03% CNT
CN04	: Mortar normal + SP + 0,04% CNT

4.1.8 Pengujian *slump flow*

Pengujian *slump flow* dilakukan untuk mengetahui nilai kelecakan (*workability*) pada mortar beton dengan menggunakan *mini slump cone*. Hasil pengujian nilai *slump flow* pada tiap varias campuran beton dapat dilihat pada Gambar 4.3.

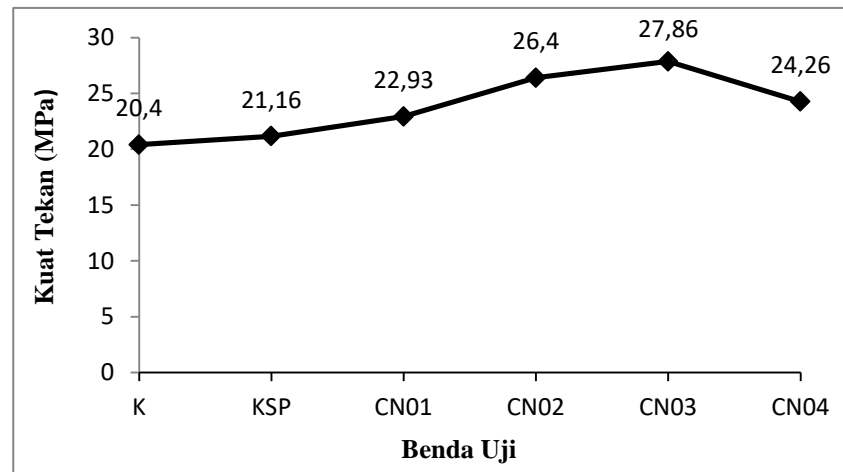


Gambar 4.3 Pengujian *Slump Flow*

4.1.9 Pengujian kuat tekan

Nilai kuat tekan mortar diperoleh dari pengujian dengan menggunakan *Compressive strength machine*. Pengujian dilakukan setelah dilakukannya metode perawatan normal berupa perendaman benda uji di dalam air bersih dengan suhu ruangan sampai umur benda uji 28 hari. Hasil pengujian kuat

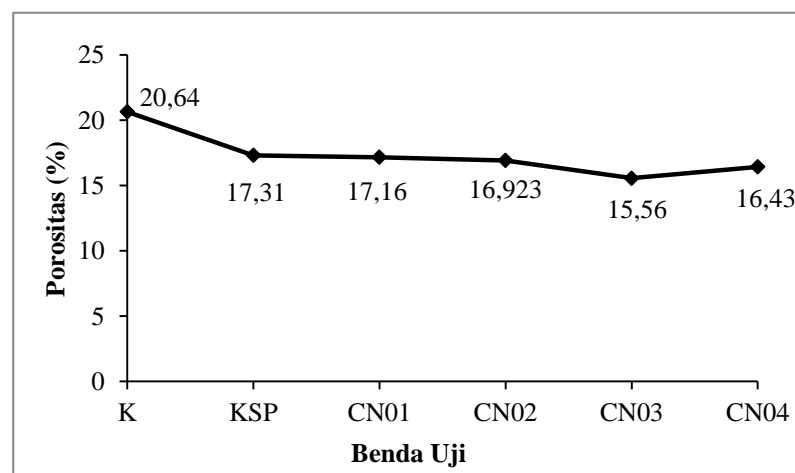
tekan mortar yang didapat menunjukkan kenaikan nilai kuat tekan secara signifikan sesuai dengan penambahan variasi CNT pada mortar. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 4.4 dan untuk perhitungan data uji kuat tekan dapat dilihat pada Lampiran A.2.



Gambar 4.4 Pengujian Kuat Tekan

4.1.10 Pengujian porositas

Pengujian porositas ini bertujuan untuk mengetahui persentase ukuran dari ruang kosong atau pori pada mortar beton. Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan untuk perhitungan data porositas dapat dilihat pada Lampiran A.3



Gambar 4.5 Pengujian Porositas

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus

Berdasarkan spesifikasi agregat halus pada SNI 1970:2008, interval untuk berat jenis agregat halus yaitu antara 1,6 - 3,3. Pada penelitian ini, berat jenis rata rata yang didapat sebesar 2,59 pada berat curah kering oven (Bj. OD), 2,64 pada berat jenis agregat kering permukaan (SSD), dan 2,71 pada berat jenis semu (APP). Sedangkan, untuk penyerapan (absorpsi) spesifikasinya yaitu pada interval 0,20% - 2,00%. Rata-rata absorpsi yang didapat dari hasil pengujian pada penelitian ini adalah sebesar 1,62%. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dan absorpsi pada agregat halus, maka agregat tersebut dapat dikatakan sesuai dengan standar spesifikasi dan dapat digunakan sebagai bahan campuran. Untuk hasil dan data pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus dapat dilihat lebih jelas dalam bentuk tabel pada Lampiran B.1.

4.2.2 Pengujian kadar air agregat halus

Pengujian kadar air berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat halus pada standar SNI 03-1971-1990 memiliki nilai interval untuk kadar air sebesar 2,0 % - 5,0 %. Pada penelitian ini, hasil pengujian kadar air yang diperoleh sebesar 3,7%. Jadi, kadar air agregat halus yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan standar spesifikasi dan dapat digunakan sebagai bahan campuran. Untuk hasil dan data pengujian kadar air agregat halus dapat dilihat lebih jelas dalam bentuk tabel pada Lampiran B.2.

4.2.3 Pengujian berat volume agregat halus

Pengujian berat volume agregat halus berdasarkan spesifikasi agregat halus pada standar SNI 03-4804-1998, nilai interval untuk berat volume agregat halus yaitu antara 1400 – 1900 kg/m³. Pada penelitian ini, hasil pemeriksaan berat volume agregat halus yang didapat adalah 1,480 untuk berat volume gembur dan 1,518 untuk berat volume padat. Hasil berat volume gembur dan padat yang diperoleh sudah sesuai dengan standar

spesifikasi yang ditetapkan. Dengan demikian agregat halus ini dapat digunakan pada pembuatan mortar, karena kepadatan agregat juga dapat menyebabkan kekuatan mortar akan bertambah. Untuk hasil dan data pengujian berat volume agregat halus dapat dilihat lebih jelas dalam bentuk tabel pada Lampiran B.4 dan B.5.

4.2.4 Pengujian analisa saringan

Pada pengujian analisa saringan, didapatkan nilai rata rata modulus halus butir (MHB) agregat halus sebesar 3,84. Hasil ini telah memenuhi standar spesifikasi modulus halus butir agregat halus yaitu 1,5 – 3,8 sesuai dengan peraturan SNI 03-2834-2000 dan ASTM C 33. Menurut SNI 7656 2012 terdapat batasan gradasi agregat halus dalam campuran beton normal. Batasan tersebut seperti yang diperlihatkan pada tabel 4.6 sementara untuk hasil dan data pengujian analisa saringan dapat dilihat lebih jelas dalam bentuk tabel dan grafik pada Lampiran B.6.

Tabel 4.6 Batas batas gradasi agregat halus

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Zona I (Kasar)	Zona II (Agak Kasar)	Zona III (Agak halus)	Zona IV (Halus)
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SNI 7656 2012

4.2.5 Pengujian berat jenis semen

Pengujian berat jenis semen menurut SNI 15-2531-1991 berkisar antara 3000-3200 kg/m³. Hasil pengujian berat jenis semen yang diperoleh pada penelitian ini diperoleh nilai rata-rata sebesar 3,061 kg/m³. Hasil ini telah sesuai dengan spesifikasi standar dan semen dapat digunakan sebagai bahan campuran. Untuk data dan hasil pengujian berat jenis semen dapat

dilihat dengan lebih jelas dalam bentuk tabel pada Lampiran B.3.

4.2.6 Rancangan campuran (*mix design*)

Untuk rancangan campuran yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada standar SNI 03-6825-2002. Campuran *carbon nanotube* yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0,01% - 0,04% dari berat semen, dan penggunaan *superplasticizer* sebesar 1,5% dari berat semen.

4.2.7 Pengujian *slump flow*

Dalam pengujian ini, apabila mortar ditambahkan dengan campuran CNT, maka akan terjadi penurunan nilai slump secara signifikan dikarenakan terjadinya penggumpalan pada mortar. Penggumpalan ini dapat terjadi dikarenakan CNT memiliki sifat absorpsi sehingga terjadi penyerapan pada air. Misalnya, ketika mortar ditambahkan campuran CNT sebesar 0,01% - 0,04%, kemampuan alir pada benda uji berkurang sebesar 15,38%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan CNT dalam jumlah kecil mempunyai dampak yang besar terhadap kemampuan alir campuran mortar. Hasil yang serupa juga didapatkan oleh (Zhang et al., 2023) yang mengatakan bahwa penambahan CNT secara umum akan menurunkan *workability* beton. Hasil yang didapatkan oleh (Raza et al., 2023) juga menunjukkan dampak dari penambahan CNT terhadap *workability* mortar. Perbandingan hasil *slump flow* pada penelitian dengan hasil dari (Raza et al., 2023) dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Perbandingan Hasil *Slump Flow Test*

Workability pada penelitian				Workability (Raza et al., 2023)		
No	Sampel	CNT (%)	Hasil <i>Slump Flow</i> (mm)	Sampel	CNT (%)	Hasil <i>Slump Flow</i> (mm)
1	K	-	150	SCM-0	-	271
2	KSP	-	143	SCM-1	0,05	259
3	CN01	0,01	140	SCM-2	0,1	251
4	CN02	0,02	138	SCM-3	0,15	248
5	CN03	0,03	135	SCM-4	0,2	242
6	CN04	0,04	130	-	-	-

Sumber : Raza et al., (2023)

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa perbandingan hasil *slump flow* dengan penelitian terdahulu memiliki hasil yang serupa dimana semakin tinggi persentase CNT yang digunakan berdampak pada *workability* mortar beton yang semakin menurun. Hal ini dapat terjadi karena sifat CNT yang menyerap air sehingga kelecikan pada mortar berkurang seiring dengan penambahan variasi CNT yang digunakan. Hasil dari *slump flow test* penelitian Raza et al., (2023) memiliki nilai kelecikan yang berbeda dan lebih tinggi yaitu 242 – 271 mm. Hal ini dapat terjadi karena pada penelitian tersebut menggunakan benda uji yang lebih besar yaitu benda uji kubus berukuran 40 x 40 x 160 mm.

4.2.8 Pengujian kuat tekan

Nilai kuat tekan mortar diperoleh dari benda uji dengan menggunakan metode perawatan normal berupa perendaman di dalam air bersih selama 28 hari. Uji kuat tekan mortar dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan, maka dapat dikatakan bahwa penambahan CNT pada campuran mortar dapat meningkatkan kuat tekan mortar. Pada benda uji CN01 didapatkan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 22,93 MPa dimana nilai tersebut meningkat sebesar 8,36% dari mortar normal. Pada benda uji CN02 didapat nilai rata-rata kuat tekan sebesar 26,4 MPa dimana nilai meningkat sebesar 24,76%. Lalu, pada benda uji CN03 diperoleh nilai rata-rata kuat tekan sebesar 27,86 MPa dengan peningkatan persentase kuat tekan sebesar 31,66%. Kemudian, pada variasi terakhir CN04 diperoleh nilai rata-rata kuat tekan sebesar 24,2 MPa dengan peningkatan persentase kuat tekan sebesar 14,65%. Dari hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan pada setiap variasi benda uji, variasi CN03 adalah variasi yang optimal untuk digunakan karena dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 31,66% dari mortar normal. Hasil tersebut dapat dibandingkan dengan hasil penelitian dari Tyson, (2012) yang menggunakan CNT variasi 0,2% dengan persentase kenaikan kuat tekan yang didapat sebesar 37% dari mortar normal. Peneliti lain

seperti Jha et al., (2016) juga menyimpulkan bahwa penambahan 0,05% - 0,5% CNT dari berat semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan secara signifikan. Tabel 4.8 memperlihatkan hasil uji kuat tekan yang didapat pada penelitian sedangkan pada Tabel 4.9 memperlihatkan perbandingan antara hasil uji kuat tekan yang didapatkan pada penelitian dengan hasil uji kuat tekan dari Abbasi Dezfouli and Shakiba, (2020) yang mengalami persentase kenaikan kuat tekan sebesar 39%. Persentase kenaikan nilai kuat tekan yang diperoleh Abbasi Dezfouli and Shakiba mendapatkan hasil yang lebih besar dan lebih baik karena CNT yang digunakan merupakan CNT yang memiliki kualitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan yang digunakan.

Tabel 4.8 Hasil Uji Kuat Tekan Mortar

No	Nama Sampel	Luas Penampang (mm ²)	P maks (kN)	f'c (Mpa)	f'c Rata-rata	Persentase Kenaikan
1	K	2500	54,4	21,76	20,42667	0%
2		2500	46	18,4		
3		2500	52,8	21,12		
4	KSP	2500	54,1	21,64	21,22667	3,91%
5		2500	58,2	23,28		
6		2500	46,9	18,76		
7	CN01	2500	54	21,6	22,93333	8,36%
8		2500	61	24,4		
9		2500	57	22,8		
10	CN02	2500	57	22,8	26,4	24,76%
11		2500	74	29,6		
12		2500	67	26,8		
13	CN03	2500	69	27,6	27,86667	31,66%
14		2500	79	31,6		
15		2500	61	24,4		
16	CN04	2500	50	20	23,2	14,65%
17		2500	67	26,8		
18		2500	57	22,8		

Tabel 4.9 Perbandingan Uji Kuat Tekan Penelitian Terdahulu

Hasil Uji Kuat Tekan pada Penelitian				Hasil Uji Kuat Tekan (Abbasi Dezfouli and Shakiba, 2020)		
No	Sampel	CNT (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (MPa)	Sampel	CNT (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (MPa)
1	K	-	20,4	-	-	-
2	KSP	-	21,16	CN-0	-	37,3
3	CN01	0,01	22,93	CN-1	0,03	51,8
4	CN02	0,02	26,4	-	-	-
5	CN03	0,03	27,86	-	-	-
6	CN04	0,04	24,26	-	-	-

Sumber : Abbasi Dezfouli and Shakiba, 2020

4.2.9 Pengujian porositas

Berdasarkan hasil pengujian porositas yang telah dilakukan, maka dapat dikatakan bahwa penambahan CNT dalam pembuatan mortar dapat mengurangi dan menutupi jumlah persentase pori yang terdapat pada mortar beton. Pada benda uji CN01, nilai porositas yang diperoleh sebesar 17,16% dimana hasil ini mengalami penurunan persentase sebesar 0,87% dari mortar normal. Pada benda uji CN02 diperoleh nilai rata-rata porositas sebesar 16,923% dengan penurunan persentase porositas sebesar 2,28% dari mortar normal. Lalu, pada benda uji CN03 diperoleh nilai rata-rata porositas sebesar 15,56% dengan penurunan persentase porositas sebesar 11,25% dari mortar normal. Kemudian pada variasi CN04 diperoleh nilai rata-rata porositas sebesar 16,43% dengan penurunan persentase sebesar 5,36% dari mortar normal. Dari hasil pengujian porositas pada setiap variasi, dapat dikatakan bahwa penambahan variasi CNT pada mortar beton dapat mengurangi nilai porositas mortar secara signifikan. Hal ini dapat terjadi karena CNT dapat menutupi pori-pori dan rongga kecil pada mortar. Pada CN01 – CN03 nilai porositas pada mortar menurun akibat reaksi yang diberikan oleh CNT, namun pada sampel CN04 tidak menunjukkan penurunan nilai porositas yang signifikan pada struktur mikronya. Hal ini dikarenakan terjadinya perubahan homogen pada campuran mortar sehingga terjadinya aglomerasi pada mortar yang kemudian mengarah ke

terbentuknya area lemah dalam mortar. Hasil yang serupa juga didapatkan oleh Dalla et al., (2019). Hasil pengujian porositas ini juga dapat dibandingkan dengan hasil yang didapat oleh Evangelista et al., (2019) yang menggunakan 0,4% CNT dari berat semen dengan nilai rata rata porositas sebesar 19,30%. Peneliti lain seperti Jha et al., (2016) juga menyimpulkan bahwa penambahan variasi CNT pada mortar dapat mengurangi porositas pada mortar. Tabel 4.10 memperlihatkan hasil pengujian porositas pada penelitian. Sementara perbandingan hasil porositas mortar beton yang didapatkan dengan hasil porositas mortar milik Evangelista et al., (2019) dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Nilai Porositas Mortar Beton

No	Nama Sampel	Berat Benda Uji Kering Permukaan (gr)	Berat Benda Uji Kering Oven (gr)	Berat Benda Uji dalam Air (gr)	Porositas (%)	Rata-rata Porositas
1	K	256,8	231,2	135,5	21,10%	20,65%
2		256,7	230,7	135,8	21,50%	
3		259,7	233,8	125,8	19,34%	
4	KSP	263,8	242,7	139,5	17,37%	17,32%
5		263,5	241,6	138	17,45%	
6		263,5	242,1	138,6	17,13%	
7	CN01	259,9	239,5	138,5	16,98%	17,17%
8		259,1	237,9	136,5	17,29%	
9		251,9	231,5	133,5	17,23%	
10	CN02	266,2	244,2	139,6	16,80%	16,92%
11		273,7	252,5	146,4	16,65%	
12		271,7	249,8	145,3	17,32%	
13	CN03	264,3	238,3	132,8	19,77%	15,56%
14		261,1	240,8	133,8	15,94%	
15		258,1	244,7	136	10,97%	
16	CN04	262	241,2	135,3	16,41%	16,43%
17		257,8	237,1	132,3	16,49%	
18		254,4	234,1	130,6	16,39%	

Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Porositas Mortar Beton

Hasil Uji Porositas pada Penelitian				Hasil Uji Porositas (Evangelista et al., 2019)		
No	Sampel	CNT (%)	Hasil Uji Porositas (%)	Sampel	CNT (%)	Hasil Uji Porositas (%)
1	K	-	20,64	-	-	-
2	KSP	-	17,31	CN-0	-	22,65
3	CN01	0,01	17,16	CN-1	0,8	22,50
4	CN02	0,02	16,923	CN-2	1,6	19,30
5	CN03	0,03	15,56	CN-3	2,4	24,30
6	CN04	0,04	16,43	-	-	-

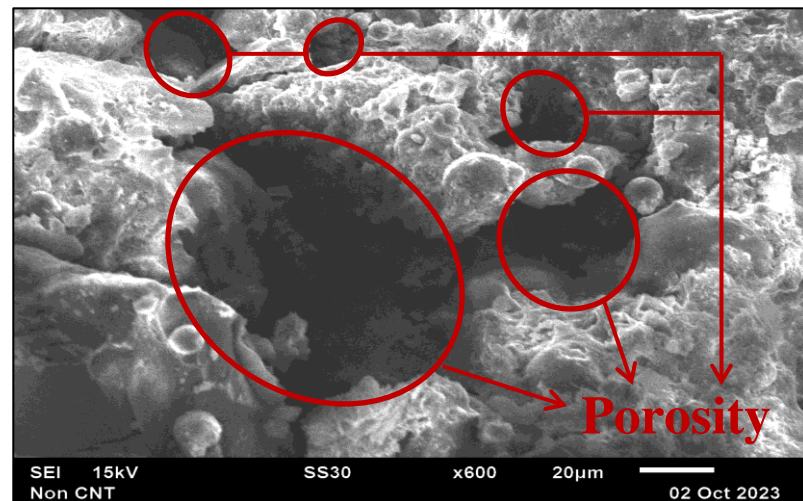
Sumber : Evangelista et al., (2019)

Pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa nilai porositas akan menurun seiring dengan penambahan variasi CNT pada mortar. Namun, penambahan CNT yang terlalu banyak juga dapat menyebabkan terjadinya aglomerasi pada mortar beton. Persentase penurunan porositas yang didapat oleh Evangelista memiliki persentase yang lebih baik dikarenakan kadar CNT yang digunakan juga berbeda dan jauh lebih tinggi yaitu sebesar 2,4% CNT.

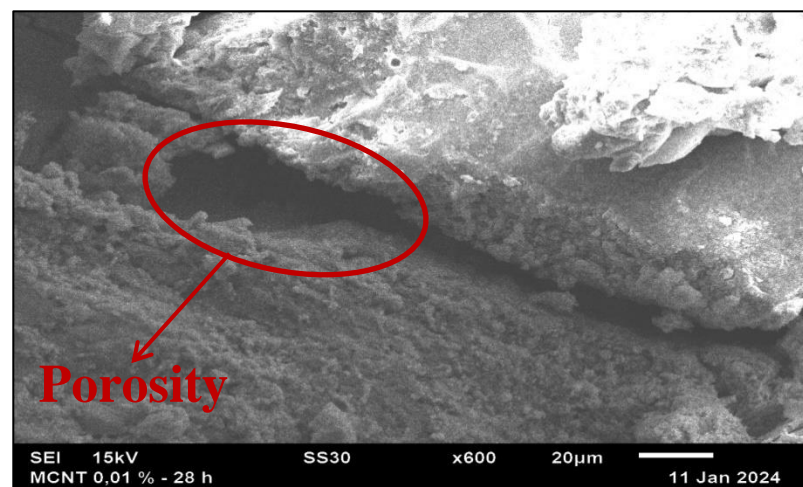
4.2.10 Pengaruh CNT terhadap kuat tekan dan porositas

Berdasarkan hasil pengujian porositas dan kuat tekan mortar beton dengan penambahan CNT pada masing masing variasi menunjukkan penurunan nilai porositas namun mengalami kenaikan pada nilai kuat tekan mortar beton. Pada variasi CN03 dengan penambahan persentase CNT sebesar 0,03% pada mortar memperoleh nilai porositas paling rendah dibandingkan dengan variasi lainnya yaitu sebesar 15,56 % namun pada pengujian kuat tekan, variasi CN03 mendapatkan nilai kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 27,86 MPa. Nilai porositas rendah yang didapat menjelaskan bahwa CNT dapat menutupi dan mengurangi terjadinya rongga pada mortar sehingga hal ini berpengaruh pada kemampuan mortar dalam memikul gaya tekan. Pengaruh CNT terhadap kuat tekan dan porositas mortar dapat dilihat lebih jelas dengan pengujian *scanning electron microscope* (SEM). Pengujian SEM adalah pengujian mikroskop elektron yang dilakukan

dengan tujuan menghasilkan gambar permukaan sampel dengan resolusi tinggi dan detail yang sangat jelas serta akurat. Hasil pengujian SEM pada mortar dengan tambahan CNT dan tanpa CNT dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.6 Pengujian SEM pada mortar tanpa tambahan CNT



Gambar 4.7 Pengujian SEM pada mortar dengan tambahan CNT

Berdasarkan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa penggunaan CNT terhadap mortar memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap kuat tekan dan porositas mortar dimana saat mortar tidak ditambahkan dengan variasi CNT, masih terdapat banyak ruang kosong (pori) pada mortar. Hal ini berbeda dengan mortar yang telah ditambahkan variasi CNT sebesar 0,01% pada Gambar 4.9. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.9, ruang

kosong (pori) pada mortar dengan penambahan variasi CNT terlihat berkurang dan lebih sedikit. Hal ini disebabkan oleh pengaruh CNT terhadap mortar yang dapat mengurangi ruang kosong pada mortar sehingga mempengaruhi nilai kekuatan pada mortar beton.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pengujian kuat tekan dengan penambahan campuran *carbon nanotube* sebanyak 0,01%, 0,02%, 0,03%, dan 0,04% memiliki kuat tekan rata rata sebesar 22,03 MPa, 26,4 MPa, 27,86 MPa, dan 24,26 MPa. Persentase campuran CNT yang memiliki nilai kuat tekan paling optimum adalah variasi CN03 yaitu 27,86 MPa dan didapat hasil perbandingan dari data kuat tekan rata rata antara benda uji CN03 dengan mortar kontrol dapat meningkat hingga 31,66%.
2. Pada pengujian porositas dengan penambahan campuran CNT sebanyak 0,01%, 0,02%, 0,03%, dan 0,04% memiliki nilai porositas rata rata sebesar 17,16%, 16,923%, 15,56%, dan 16,43%. Persentase campuran CNT yang memiliki nilai porositas terendah adalah variasi CN03 yaitu 15,56%. Dari hasil pengujian porositas dapat disimpulkan bahwa penambahan CNT kedalam campuran mortar dapat mengurangi dan menutupi jumlah pori pada mortar sesuai dengan kadar CNT yang digunakan. Namun, penambahan lebih banyak CNT juga dapat mengakibatkan terjadinya aglomerasi pada mortar sehingga mortar tidak dapat bekerja secara optimal. Hasil perbandingan dari data porositas antara benda uji variasi CN03 dengan mortar kontrol mengalami penurunan porositas sebesar 10,11%

5.1 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk melakukan dan memperhatikan beberapa hal sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan kadar persentase CNT yang sedikit lebih banyak dengan menggunakan *mix*

design yang berbeda dengan harapan mendapatkan kuat tekan yang lebih tinggi.

2. Untuk penelitian berikutnya, disarankan untuk melakukan pengujian sifat mekanis lainnya seperti kuat tarik, kuat lentur, permaebilitas, dan lain lain.
3. Untuk penelitian berikutnya, disarankan untuk menggunakan campuran dua nano material dengan persentase yang kecil dengan harapan mendapatkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dan lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi Dezfouli, A., Shakiba, A., 2020. Experimental investigation on the effect of Nano carbon tube on concrete strength. *Journal of Civil Engineering and Materials Application* 4, 31–41.
- Adhikary, S.K., Rudžionis, Ž., Tučkutė, S., Ashish, D.K., 2021. Effects of carbon nanotubes on expanded glass and silica aerogel based lightweight concrete. *Scientific reports* 11, 2104.
- Andrews, R., Weisenberger, M.C., 2004. Carbon nanotube polymer composites. *Current opinion in solid state and Materials Science* 8, 31–37.
- Anggoro, P.A., Saraswati, T.E., 2021. Sintesis Carbon Nanotube (CNT) Menggunakan Prekursor Bahan Alam Serta Modifikasi CNT Sebagai Komposit CNT/Resin Epoksi: Review, in: *Proceeding of Chemistry Conferences*. pp. 55082–1.
- ASTM C 33, 2003. C33, “Standard Specification for Concrete Aggregates,” ASTM International, vol. i, no.
- ASTM C 642-90, C., 1994. ASTM C 642-90. Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption and Voids in Hardened Concrete, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- Dalla, P.T., Tragazikis, I.K., Exarchos, D.A., Dassios, K.G., Barkoula, N.M., Matikas, T.E., 2019. Effect of carbon nanotubes on chloride penetration in cement mortars. *Applied Sciences* 9, 1032.
- Evangelista, A.C.J., de Moraes, J.F., Tam, V., Soomro, M., Di Gregorio, L.T., Haddad, A.N., 2019. Evaluation of carbon nanotube incorporation in cementitious composite materials. *Materials* 12, 1504.
- Fajrin, J., Pathurahman, P., Pratama, L.G., 2016. Aplikasi metode analysis of variance (anova) untuk mengkaji pengaruh penambahan silica fume terhadap sifat fisik dan mekanik mortar. *Jurnal Rekayasa Sipil* 12, 11–24.
- Harahap, D., Hariyanto, B., 2013. Pengaruh Varian Suhu Air Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Karakteristik Beton. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil* 2.

- Hardagung, H.T., Sambowo, K.A., Gunawan, P., 2014. Kajian Nilai Slump, Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Betondengan Bahan Tambahan Filler Abu Batu Paras. *Matriks Teknik Sipil* 2, 131–137.
- Jha, S.A., Jethwani, S., Sangtiani, D., 2016. Carbon Nanotube Cement Composites. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)* 7.
- Machmudah, S., 2021. Analisis Kekuatan Mekanik dan Karakteristik Beton Dengan Tambahan Carbon Nanotubes dari Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Bahan Konstruksi Potensial.
- McKelvey, J.P., 2018. *Solid state and semiconductor physics*. Harper & Row.
- Mu'minin, A., Eka Maulana, S.T., CARBON NANOTUBE.
- Nugroho, E.H., 2010. Analisis porositas dan permeabilitas beton dengan bahan tambah fly ash untuk perkerasan kaku (rigid pavement).
- Raza, A., Ndiaye, M., Myler, P., 2023. Experimental Analysis of Multiwalled CNT-incorporated Self-compacting Mortar (SCM).
- Sari, N.P., Olivia, M., Djauhari, Z., 2017. Kuat Tekan dan Porositas Mortar Dengan Bahan Tambah Gula Aren. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP)* 9, 267–274.
- SNI 03-1971-1990, B.S., 1990. SNI 03-1971-1990, Metode Pengujian Kadar Air Agregat. Jakarta (ID): BSN.
- SNI 03-2834-2000, 2000. SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. BSN, Jakarta.
- SNI 03-4804-1998, 1998. SNI 03-4804-1998 (Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat). BSN, Jakarta.
- SNI 03-6825-2002, 2002. SNI 03-6825-2002. Standar Nasional Indonesia Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil.
- SNI 15-2531-1991, 1991. SNI 15-2531-1991 Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1970:2008, 1970. Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus.
- SNI 1974-2011, S.N., 2011. Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Jakarta Badan Standarisasi Nasional.

- SNI 7656 2012, S. 7656 2012, 2012. SNI 7656: 2012. Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa.
- Sunarno, Y., Rangan, P., Tumpu, M., 2022. Pengaruh Penggunaan Carbon Nanotube (Cnt) Terhadap Kinerja Beton. Konferensi Nasional Teknik Sipil (KONTEKS) 16 16.
- Talinusa, O.G., Tenda, R., Tamboto, W.J., 2014. Pengaruh Dimensi Benda Uji Terhadap Kuat Tekan Beton. Jurnal Sipil Statik 2.
- Tjokrodinuljo, K., 1996. Teknologi beton.
- Tyson, B.M., 2012. Carbon nanotube and nanofiber reinforcement for improving the flexural strength and fracture toughness of Portland cement paste (PhD Thesis). Texas A & M University.
- Ximenes, A.M.D.S., Halim, A., Suraji, A., 2021. Pengaruh Komposisi Campuran Beton dan Jenis Semen terhadap Keleccakan (Concrete Workability) dan Kuat Tekan Beton, in: Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH). pp. 529–538.
- Zhang, P., Su, J., Guo, J., Hu, S., 2023. Influence of carbon nanotube on properties of concrete: A review. Construction and Building Materials 369, 130388.
- Zuraidah, S., Hastono, B., 2018. Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan. Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil 1, 8–13.

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN

A.1 Pengujian Sifat Fisis

A.1.1 Berat Jenis Semen

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

$$B_j = \frac{w_1}{(V_2 - V_1)\gamma_d} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- B_j = Berat Jenis Semen (gr/cm³)
- W₁ = Berat Sampel Semen (gr)
- V₁ = Pembacaan Skala Awal (cm)
- V₂ = Pembacaan Skala Akhir (cm)
- γ_d = Berat Volume Air pada Suhu 28°C

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

- Berat Semen (W₁) = 64 gram
- Pembacaan Skala Awal (V₁) = 0,4
- Pembacaan Skala Akhir (V₂) = 21
- Berat Volume Air (γ_d) = 0,996

$$B_j = \frac{w_1}{(V_2 - V_1)\gamma_d}$$
$$B_j = \frac{64}{(21 - 0,4)0,996}$$
$$B_j = 3,094 = 3,09 \text{ gr/cm}^3$$

Untuk sampel 1 diperoleh berat jenis semen sebesar 3,09 gr/cm³. Selanjutnya perhitungan berat jenis semen pada sampel II dan III dihitung dengan cara yang sama. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran B

A.1.2 Perhitungan Kadar Air Agregat Halus

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

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

Dimana :

W1 = Berat Cawan (gr)

W2 = Berat Benda Uji + Cawan (gr)

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

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

- Berat Cawan (W1) = 175 gram
- Berat benda uji awal + cawan (W2) = 2675 gram
- Berat benda uji kering oven + cawan (W3) = 2580 gram

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air} &= \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\% \\ &= \frac{2675 - 2580}{2580 - 175} \times 100\% \\ &= 3,950 = 4,0\% \end{aligned}$$

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

A.1.3 Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

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

$$Bj. OD = \frac{W_1}{(W_2 + W_4 - W_3)\gamma_d} \dots\dots\dots (3)$$

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

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

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

Dimana :

Bj. SSD	= Berat jenis benda uji kering permukaan (gr/cm ³)
Bj. OD	= Berat jenis curah, kering oven (gr/cm ³)
Bj. APP	= Berat jenis semu (gr/cm ³)
W _a	= Penyerapan air
W ₁	= Berat benda uji kering oven (gr)
W ₂	= Berat piknometer + air + plat kaca (gr)
W ₃	= Berat piknometer + air + benda uji + plat kaca (gr)
W ₄	= Berat benda uji kering permukaan (gr)
γ _d	= Berat volume air pada suhu 28°C = 0,996

Perhitungan berat jenis agregat halus pada sampel I dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut :

- Benda uji kering oven (W₁) = 493,3 gr
- Berat piknometer + air + plat kaca (W₂) = 2005 gr
- Berat piknometer + air + benda uji + plat kaca (W₃) = 2315 gr
- Benda uji jenuh kering permukaan (W₄) = 500 gr
- Berat volume air pada suhu 28°C (γ_d) = 0,996
- Berat jenis curah kering oven (OD)

$$\begin{aligned}
 Bj. OD &= \frac{W_1}{(W_2+W_4-W_3)\gamma_d} \\
 &= \frac{493,3}{(2005+500-2315)0,996} \\
 &= 2,61 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

- Berat jenis kering permukaan (SSD)

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

- Berat jenis semu (APP)

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

- Penyerapan air (W_a)

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

Untuk sampel I diperoleh berat jenis kering oven (OD) sebesar 2,61 gr/cm³, berat jenis kering permukaan (SSD) sebesar 2,64 gr/cm³, berat jenis semu (APP) sebesar 2,70 gr/cm³, dan penyerapan air sebesar 1,64 %. Untuk perhitungan sampel II dan III dapat menggunakan cara yang sama. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran B

A.1.4 Berat Volume Gembur Padat Agregat Halus

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

a. Volume Gembur Agregat Halus

Berat volume gembur agregat halus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

$$\text{Berat Volume Gembur} = \frac{W_5 - W_2}{W_4} \dots \dots \dots (8)$$

Dimana :

- W1 = Berat plat kaca (gr)
- W2 = Berat silinder (gr)
- W3 = Berat silinder + air + plat kaca (gr)
- W4 = Volume air dalam silinder (cm³)
- W5 = Berat silinder + benda uji yang telah dipadatkan (gr)

Maka, berat volume gembur agregat halus sampel I dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

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

- Volume air dalam silinder (W4) = 3015 cm³
- Berat silinder + benda uji (W5) = 8570 gram

$$\begin{aligned} \text{Volume air (W4)} &= (W3 - (W1 + W2)) \\ &= (9305 - (2195 + 4095)) \\ &= 3015 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume gembur} &= (W5 - W2) / W4 \\ &= (8570 - 4095) / 3015 \\ &= 1,484 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan sampel I diperoleh volume air sebesar 3015 cm³, dan volume gembur agregat sebesar 1,484 gr/cm³. Selanjutnya perhitungan volume gembur agregat halus pada sampel II dan III dapat dihitung dengan cara yang sama. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran B

b. Volume Padat Agregat Halus

Berat volume padat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Perhitungan Volume Air : } W4 = W3 - (W1 + W2) \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{Berat Volume Gembur} = \frac{W5 - W2}{W4} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

W1 = Berat plat kaca (gr)

W2 = Berat silinder (gr)

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

W4 = Volume air dalam silinder (cm³)

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

Maka, berat volume padat agregat halus sampel I dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

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

- Volume air dalam silinder (W4) = 3015 cm³
- Berat silinder + benda uji (W5) = 8685 gram

$$\begin{aligned} \text{Volume air (W4)} &= (W3 - (W1 + W2)) \\ &= (9305 - (2195 + 4095)) \\ &= 3015 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume gembur} &= (W5 - W2) / W4 \\ &= (8685 - 4095) / 3015 \\ &= 1,522 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan sampel I diperoleh volume air sebesar 3015 cm³, dan volume padat agregat sebesar 1,522 gr/cm³. Selanjutnya perhitungan volume padat agregat halus pada sampel II dan III dapat dihitung dengan cara yang sama. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran B

A.1.5 Perhitungan Perencanaan Campuran Mortar (*Mix Design*)

Perencanaan campuran dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-6825-2002, dimana material yang digunakan adalah semen, pasir, air, SP, dan *carbon nanotube* sebagai material tambahan.

Tabel A.1 Perbandingan berat campuran (*Mix Design*)

No	Kode Benda Uji	Semen	Pasir	Air	Carbon Nanotube	SP	Jumlah benda uji umur 28 hari
1	MN	250	687,5	121	-	-	3
2	MNSP	250	687,5	121	-	3,75	3
3	MCNT 0,01%	250	687,5	96	25	3,75	3
4	MCNT 0,02%	250	687,5	71	50	3,75	3
5	MCNT 0,03%	250	687,5	46	75	3,75	3
6	MCNT 0,04%	250	687,5	21	100	3,75	3
Jumlah Total							18

1. Untuk Penggunaan CNT 0,01%

$$\begin{aligned} \text{Berat CNT} &= \frac{\text{Variasi CNT}}{100} \times \text{Berat semen} \\ &= \frac{0,01}{100} \times 250 \\ &= 0,025 \text{ gr} = 25 \text{ mg.} \end{aligned}$$

Penggunaan CNT menjadi 25 mg dikarenakan CNT yang digunakan adalah CNT yang telah di dispersi oleh larutan berupa air dengan konsentrasi CNT sebesar 1 mg/ml. jadi, jika 1 botol CNT dispersi yang digunakan memiliki berat 100 gr, maka CNT yang terkandung di dalam botol tersebut hanya seberat 10 gr. Sehingga, untuk penggunaan 25 mg CNT murni, dibutuhkan 25 gram CNT dispersi di dalam botol.

$$\begin{aligned} \text{Berat Air} &= 121 - \text{CNT yang digunakan} \\ &= 121 - 25 \\ &= 96 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat SP} &= 1,5\% \times \text{Berat semen} \\ &= 1,5\% \times 250 \text{ gr} \\ &= 3,75 \text{ gram} \end{aligned}$$

2. Untuk Penggunaan CNT 0,02%

$$\begin{aligned} \text{Berat CNT} &= (\text{Variasi CNT})/100 \times \text{Berat semen} \\ &= 0,02/100 \times 250 \\ &= 0,05 \text{ gr} = 50 \text{ mg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Air} &= 121 - \text{CNT yang digunakan} \\ &= 121 - 50 \\ &= 71 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat SP} &= 1,5\% \times \text{Berat semen} \\ &= 1,5\% \times 250 \text{ gr} \\ &= 3,75 \text{ gram} \end{aligned}$$

3. Untuk Penggunaan CNT 0,03%

$$\begin{aligned} \text{Berat CNT} &= (\text{Variasi CNT})/100 \times \text{Berat semen} \\ &= 0,03/100 \times 250 \\ &= 0,075 \text{ gr} = 75 \text{ mg.} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Air} = 121 - \text{CNT yang digunakan}$$

$$= 121 - 75$$

$$= 46 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat SP} &= 1,5\% \times \text{Berat semen} \\ &= 1,5\% \times 250 \text{ gr} \\ &= 3,75 \text{ gram} \end{aligned}$$

4. Untuk Penggunaan CNT 0,04%

$$\begin{aligned} \text{Berat CNT} &= (\text{Variasi CNT})/100 \times \text{Berat semen} \\ &= 0,04/100 \times 250 \\ &= 0,1 \text{ gr} = 100 \text{ mg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Air} &= 121 - \text{CNT yang digunakan} \\ &= 121 - 100 \\ &= 21 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat SP} &= 1,5\% \times \text{Berat semen} \\ &= 1,5\% \times 250 \text{ gr} \\ &= 3,75 \text{ gram} \end{aligned}$$

A.2 Perhitungan Pengujian Kuat Tekan

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

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

Untuk perhitungan pada sampel II dan III dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran B

A.3 Perhitungan Pengujian Porositas

Setelah mendapatkan data pengujian porositas, maka akan diperoleh hasil dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Porositas} = \frac{(c-a)}{(c-d)} \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

- a = Berat benda uji kering oven di udara (g)
- c = Berat benda uji kering permukaan setelah perendaman (g)
- d = Berat benda uji dalam air setelah perendaman (g)

Maka, hasil pengujian porositas dapat diperoleh dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

- Berat benda uji kering oven (a) = 244,2 gr
- Berat benda uji kering permukaan (c) = 266,2 gr
- Berat benda uji di dalam air (d) = 139,6 gr

$$\begin{aligned} Po &= \frac{(c-a)}{(c-d)} \times 100 \\ &= \frac{(266,2-244,2)}{(266,2-139,6)} \times 100 \\ &= 17,37 \% \end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai porositas pada sampel II dan III dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran B

LAMPIRAN B
TABEL DAN GRAFIK

Tabel B.1 Berat Jenis Agregat Halus

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

Sampel	Berat jenis			Absorsi air
	Bj. OD	Bj. SSD	Bj. APP	
I	2,61	2,64	2,70	1,36
II	2,61	2,64	2,70	1,42
III	2,59	2,64	2,74	2,10
Rata-rata	2,5999	2,6421	2,7143	1,6271

Tabel B.2 Kadar Air Agregat Halus

Sampel	Berat cawan (W1) (gram)	Berat cawan + agregat (W2) (gram)	Berat agregat kering oven + cawan (W3) (gram)	Kadar air (%)
I	175,0	2.675,0	2.580,0	3,95
II	165,0	2.665,0	2.575,0	3,7
III	170,0	2.670,0	2.590,0	3,3
Kadar air rata-rata (%)				3,7

Tabel B.3 Perhitungan Berat Jenis Semen

Berat (gram)	Notasi	Sampel		
		I	II	III
Berat semen (gr)		64	64	64
Pembacaan Skala Awal Le Chatelier (cm)	V1	0,4	0,5	0,6
Pembacaan Skala Akhir Le Chatelier (cm)	V2	21	22	21
Berat volume air (gr/cm ³)	Yd	0,996	0,996	0,996

Sampel	Berat jenis Semen
I	3,094
II	2,965
III	3,125
Rata-rata	3,061

Tabel B.4 Berat Volume Padat Agregat Halus

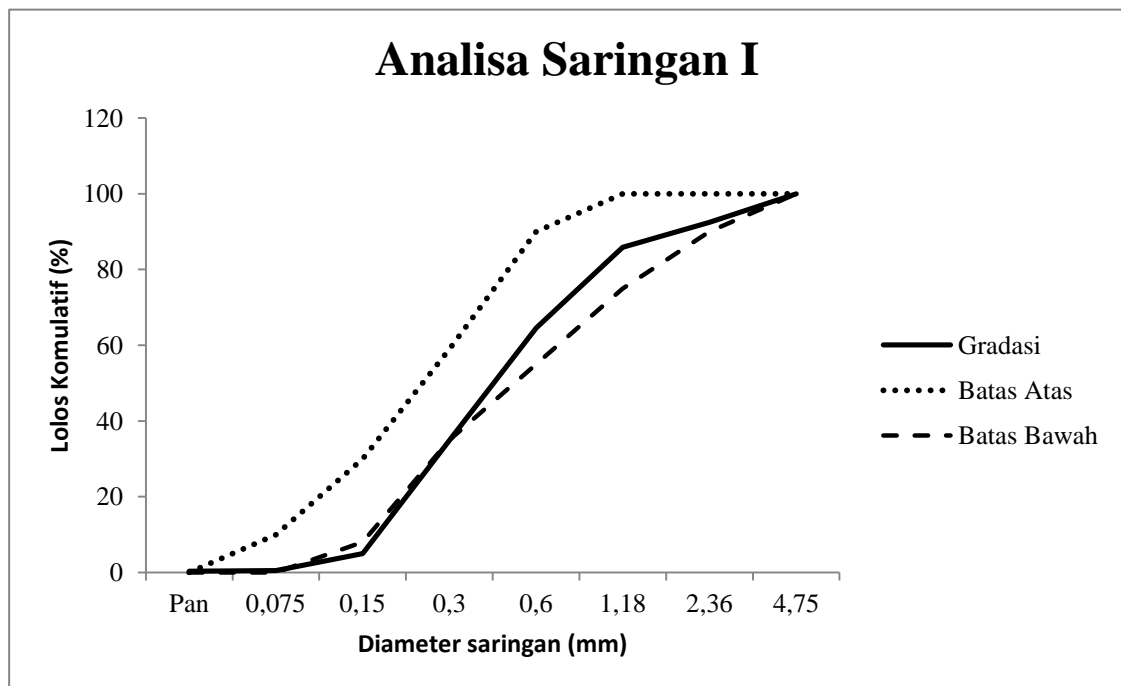
Sampel	Berat		Volume literan	Berat volume
	Literan (gram)	Literan + agregat (W5) (gram)	W4 (gram)	$\frac{W5 - W2}{W4}$
I	4095	8685	3015	1,522
II	4095	8670	3015	1,517
III	4095	8660	3015	1,514
Berat volume rata-rata (gr/cm³)				1,518

Tabel B.5 Berat Volume Gembur Agregat Halus

Sampel	Berat		Volume literan	Berat volume
	Literan (gram)	Literan + agregat (W5) (gram)	W4 (gram)	$\frac{W5 - W2}{W4}$
I	4095	8570	3015	1,484
II	4095	8560	3015	1,481
III	4095	8540	3015	1,474
Berat volume rata-rata (gr/cm³)				1,480

Tabel B.6 Analisa Saringan Agregat Halus

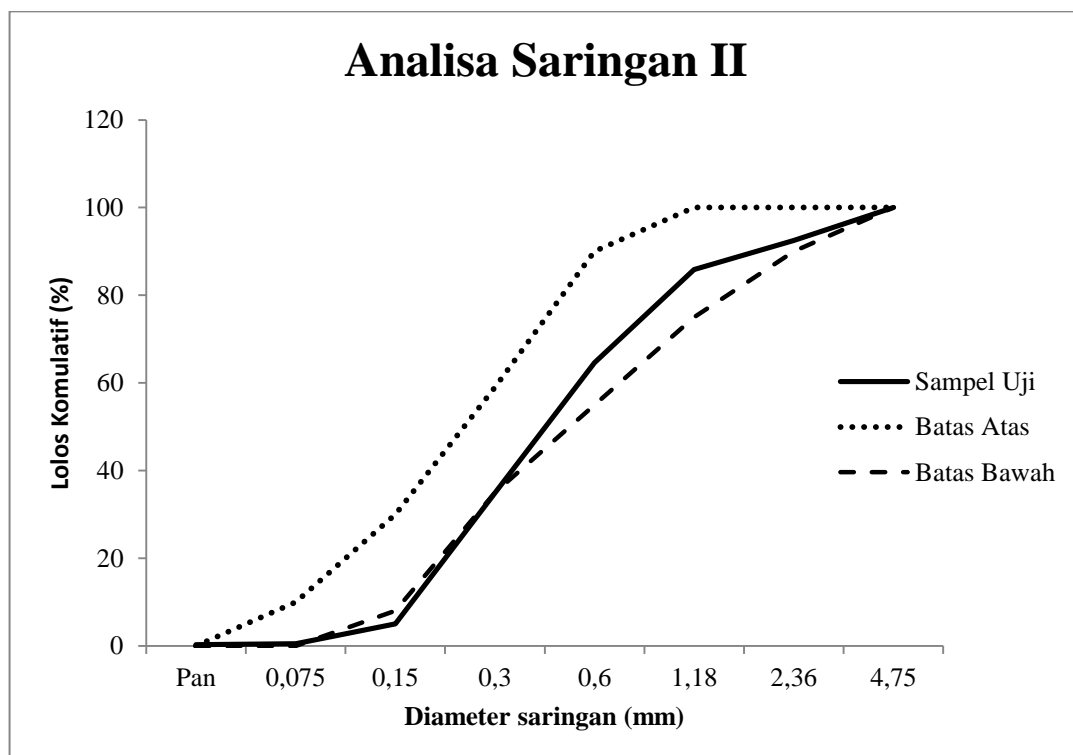
Sampel	Nomor saringan (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat material (gram)	% Tertahan	% Tertinggal komulatif	% Lolos komulatif
I	4,75	416	416	0,00	0,00	0,00	100,00
	2,36	390	465	75,00	7,50	7,50	92,50
	1,18	387	453	66,00	6,60	14,10	85,90
	0,6	358	571	213,00	21,30	35,40	64,60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



Gambar B.1 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel I

Tabel B.7 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel II

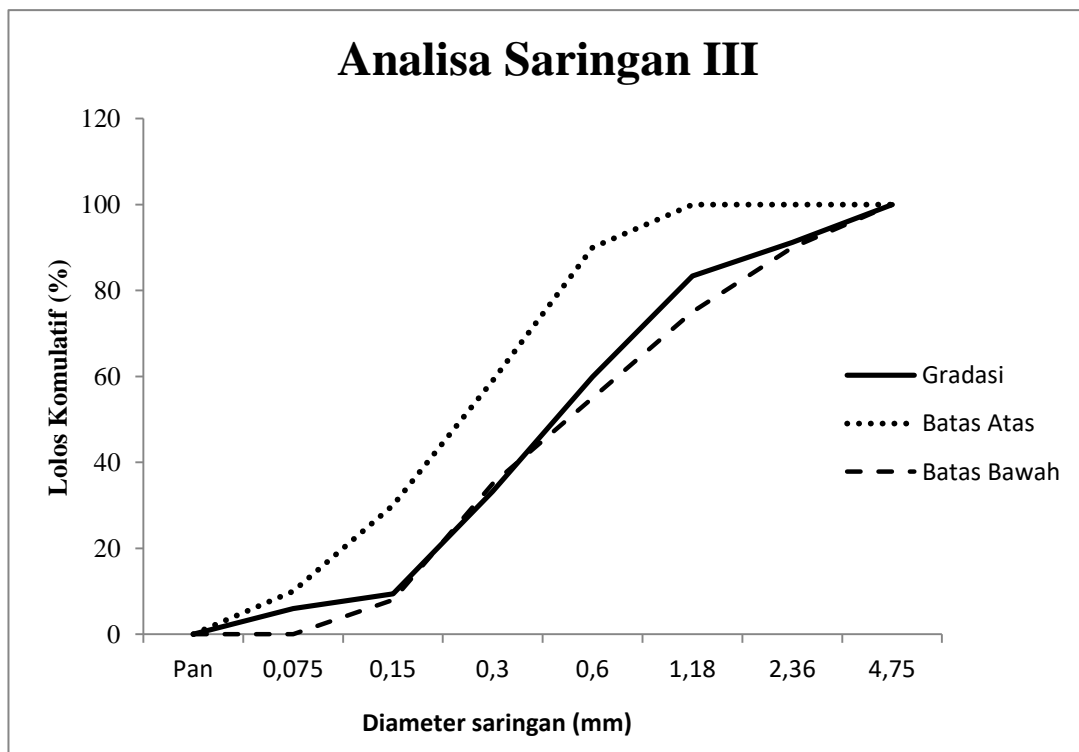
Sampel	Nomor saringan (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat material (gram)	% Tertahan	% Tertinggal komulatif	% Lolos komulatif
II	4,75	416	416	0	0,00	0,00	100,00
	2,36	390	475	85	8,50	8,50	91,50
	1,18	387	459	72	7,20	15,70	84,30
	0,6	358	598	240	24,00	39,70	60,30
	0,3	375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



Gambar B.2 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel II

Tabel B.8 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel III

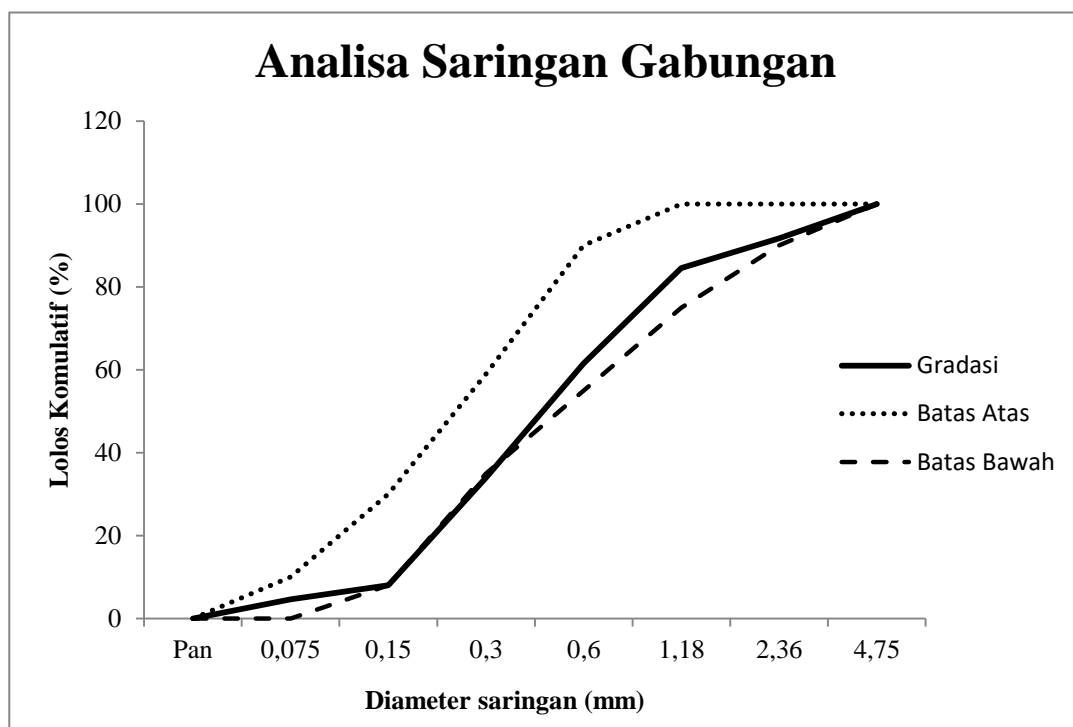
Sampel	Nomor saringan (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat material (gram)	% Tertahan	% Tertinggal komulatif	% Lolos komulatif
III	4,75	416	416	0,00	0,00	0,00	100,00
	2,36	390	478	88,00	8,80	8,80	91,20
	1,18	387	465	78,00	7,80	16,60	83,40
	0,6	358	593	235,00	23,50	40,10	59,90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



Gambar B.3 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel III

Tabel B.9 Analisa Saringan Gabungan

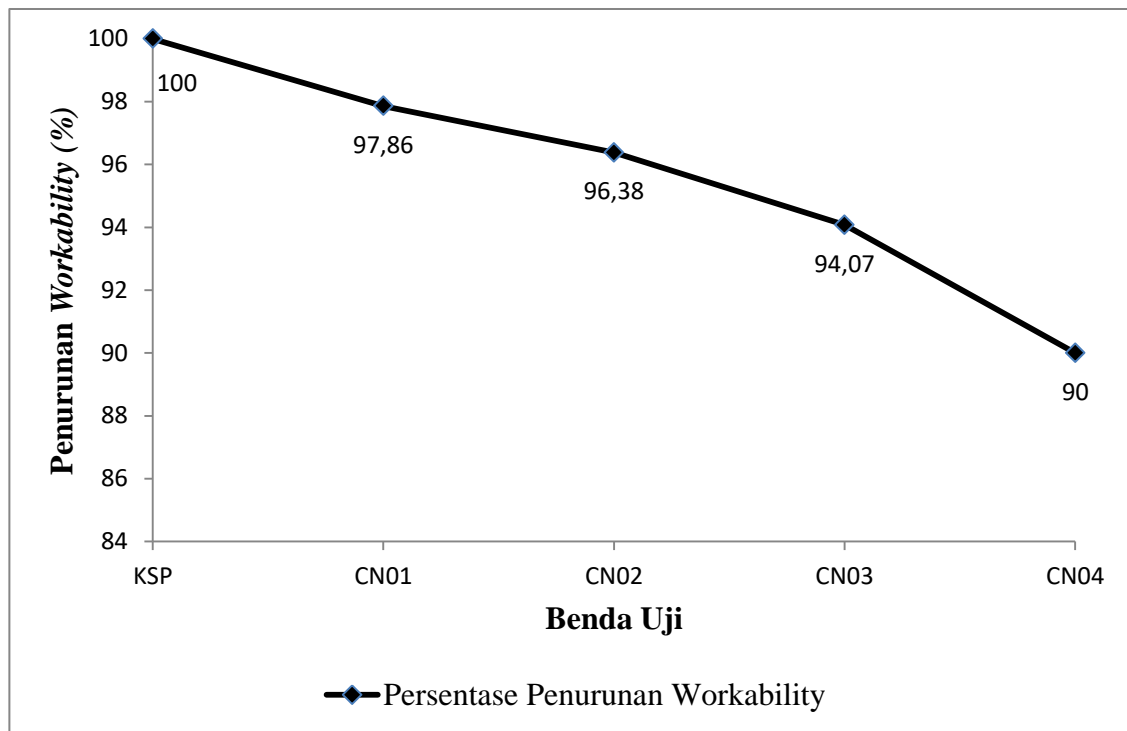
Nomor saringan (mm)	Berat tertahan sampel			Rata- rata	% Tertahan	% Tertinggal komulatif	% Lolos komulatif
	I	II	III				
4,75	0	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00
2,36	75	85	88	82,67	8,27	8,27	91,73
1,18	66	72	78	72,00	7,21	15,48	84,52
0,6	213	240	235	229,33	22,96	38,44	61,56
0,3	297	263	267	275,67	27,59	66,03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



Gambar B.4 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel Gabungan

Tabel B.10 Berat Pengujian Slump Flow Test

No	Sampel	Hasil Slump Flow
1	K	150
2	KSP	143
3	CN01	140
4	CN02	138
5	CN03	135
6	CN04	130



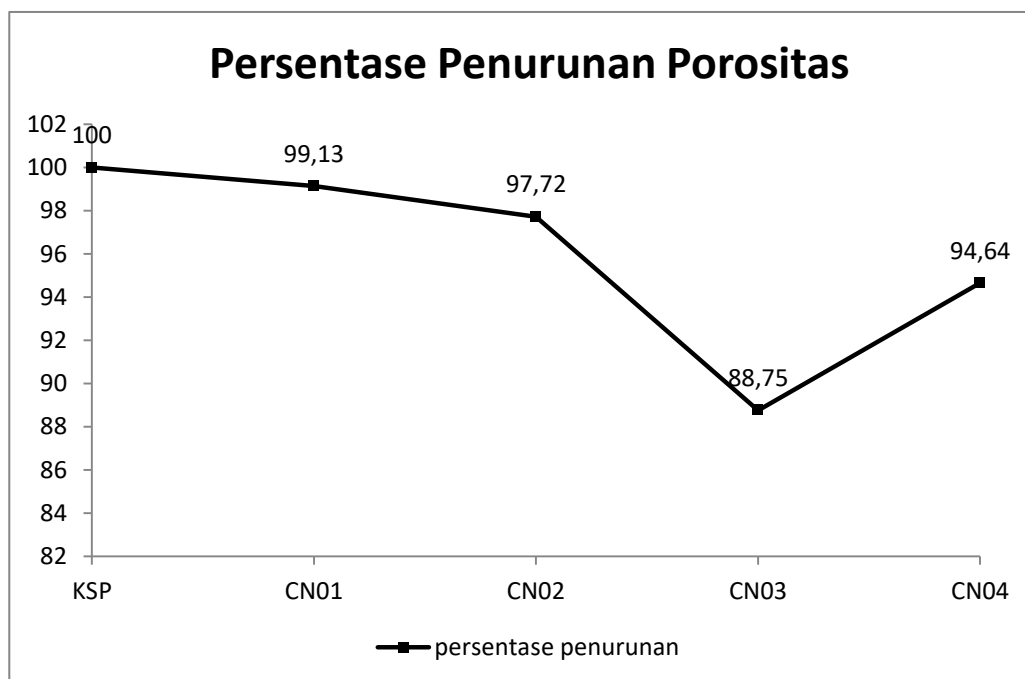
Gambar B.5 Pengujian Slump Flow Test

Tabel B.11 Pengujian Kuat Tekan

No	Nama Sampel	Luas Penampang (mm ²)	P maks (kN)	P Maks (N)	Umur Beton (28 Hari)	f'c (Mpa)	f'c Rata-rata	Persentase Kenaikan
1	K	2500	54,4	54400	28	21,76	20,42667	0%
2		2500	46	46000	28	18,4		
3		2500	52,8	52800	28	21,12		
4	KSP	2500	54,1	54100	28	21,64	21,22667	3,91%
5		2500	58,2	58200	28	23,28		
6		2500	46,9	46900	28	18,76		
7	CN01	2500	54	54000	28	21,6	22,93333	8,36%
8		2500	61	61000	28	24,4		
9		2500	57	57000	28	22,8		
10	CN02	2500	57	57000	28	22,8	26,4	24,76%
11		2500	74	74000	28	29,6		
12		2500	67	67000	28	26,8		
13	CN03	2500	69	69000	28	27,6	27,86667	31,66%
14		2500	79	79000	28	31,6		
15		2500	61	61000	28	24,4		
16	CN04	2500	50	50000	28	20	23,2	14,65%
17		2500	67	67000	28	26,8		
18		2500	57	57000	28	22,8		

Tabel B.12 Pengujian Porositas

No	Nama Sampel	Berat Benda Uji Kering Permukaan (SSD)	Berat Benda Uji Kering Oven	Berat Benda Uji dalam Air	Porositas (%)	Rata-rata Porositas
1	K	256,8	231,2	135,5	21,10%	20,65%
2		256,7	230,7	135,8	21,50%	
3		259,7	233,8	125,8	19,34%	
4	KSP	263,8	242,7	139,5	17,37%	17,32%
5		263,5	241,6	138	17,45%	
6		263,5	242,1	138,6	17,13%	
7	CN01	259,9	239,5	138,5	16,98%	17,17%
8		259,1	237,9	136,5	17,29%	
9		251,9	231,5	133,5	17,23%	
10	CN02	266,2	244,2	139,6	16,80%	16,92%
11		273,7	252,5	146,4	16,65%	
12		271,7	249,8	145,3	17,32%	
13	CN03	264,3	238,3	132,8	19,77%	15,56%
14		261,1	240,8	133,8	15,94%	
15		258,1	244,7	136	10,97%	
16	CN04	262	241,2	135,3	16,41%	16,43%
17		257,8	237,1	132,3	16,49%	
18		254,4	234,1	130,6	16,39%	



Gambar B.6 Persentase Penurunan Porositas

LAMPIRAN C
GAMBAR



Gambar C.1 Bimbingan dengan Dosen Pembimbing



Gambar C.2 Pengujian Sifat Fisis



Gambar C.3 Persiapan Bekisting Kubus



Gambar C.4 Persiapan Material Penyusun Mortar



Gambar C.5 Pengadukan Material Penyusun Mortar



Gambar C.6 Pengujian *Slump Flow*



Gambar C.7 Pencetakan Mortar ke Bekisting Kubus



Gambar C.8 Benda Uj



Gambar C.9 Penimbangan Benda Uji Kering Permukaan



Gambar C.10 Penimbangan Benda Uji di Dalam Air



Gambar C.11 Perendaman Benda Uji



Gambar C.12 Pengujian Kuat Tekan

LAMPIRAN D
BIODATA MAHASISWA



1. Personal

Nama : Kelvin Liano Del Ara
NIM : 190110004
Bidang : Struktur
Alamat : Jl. Kapten Rahmad Buddin Lingkungan 06 Gg.
Rawe Kel. Rengas Pulau, Kec. Medan Marelan
No. HP : 081534145622

2. Orang Tua

Nama Ayah : Mulyadi
Pekerjaan : TNI-AL
Umur : 47
Alamat : Jl. Kapten Rahmad Buddin Lingkungan 06 Gg.
Rawe Kel. Rengas Pulau, Kec. Medan Marelan

Nama Ibu : Wiwik Widiawati
Pekerjaan : Ibu Rumah Tangga
Umur : 50
Alamat : Jl. Kapten Rahmad Buddin Lingkungan 06 Gg.
Rawe Kel. Rengas Pulau, Kec. Medan Marelan

3. Pendidikan Formal

Asal SLTA : SMA Negeri 19 Medan
Asal SLTP : SMP Negeri 39 Medan
Asal SD : SD Swasta Wahidin Sudirohusodo

4. Pendidikan Non Formal

Kursus/Pelatihan : Kursus Bahasa Inggris
Institusi Pelaksana : Herman *Education and Training Institute*
Tanggal Pelaksanaan : 3 Desember 2007 s/d 30 Juni 2015

5. Software yang dikuasai

Jenis Software : AutoCAD
Tingkat Penguasaan : ~~Basic~~/Intermediate/~~Advance~~
Jenis Software : Sketchup
Tingkat Penguasaan : Basic/~~Intermediate~~/~~Advance~~
Jenis Software : SAP2000
Tingkat Penguasaan : Basic/~~Intermediete~~/~~Advance~~
Jenis Software : Ms. Office
Tingkat Penguasaan : ~~Basic~~/~~Intermediete~~/~~Advance~~

Lhokseumawe, 29 Januari 2024

Mahasiswa yang bersangkutan



Kelvin Liano Del Ara
190110004