



TESIS - TL142501

**PENGARUH DISPERSAN DAN KOMPOSISI SERAT
KARBON TERHADAP SIFAT KEKUATAN TEKAN
DAN *PIEZORESISTIVITY* KOMPOSIT BETON
BERPENGUAT SERAT KARBON UNTUK APLIKASI
*CONCRETE SELF LOAD MONITORING***

MASHUDI

NRP. 02511650012008

DOSEN PEMBIMBING

Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN MATERIAL INOVASI

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar
Magister Teknik
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:
Astrit Kirana
NRP 02511650010009

Tanggal Ujian : 23 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

1. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D

NIP. 197801132002121003



(Pembimbing I)

2. Dr. Eng Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc.

NIP. 198012072005011004



(Pembimbing II)

3. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197701162003122007



(Penguji)

4. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D

NIP. 197703132003121001



(Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Industri



Bambang Lelono Widiyanto, S.T., M.T.

NIP. 196905071995121001



Halaman ini sengaja dikosongkan



**PENGARUH DISPERSAN DAN KOMPOSISI SERAT KARBON
TERHADAP SIFAT KEKUATAN TEKAN DAN *PIEZORESISTIVITY*
KOMPOSIT BETON BERPENGUAT SERAT KARBON UNTUK
APLIKASI *CONCRETE SELF LOAD MONITORING***

Name : MASHUDI
NRP : 02511650012008
Advisor : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Co – Advisor : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc

ABSTRAK

Beton dengan penguat serat karbon adalah bahan yang berbasis sensor, dapat digunakan sebagai *self-monitoring* pada struktur beton berdasarkan *piezoresistance*-nya.. Kemampuan material untuk merespon beban tekan yang diterapkan dan dapat diukur melalui perubahan resistivitasnya. Proses dispersi serat karbon sangat mempengaruhi sifat mekanik dan elektrik komposit. Tiga jenis surfaktan *Carboxymethyl selulosa*, *super plasticizer* dan NaOH digunakan untuk membantu persebaran serat dengan variasi konsentrasi masing–masing 0, 0.4, 0.8, 1.2, dan 1.6 % berat terhadap 100 ml aquades dan diputar menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan putar 350 rpm. *Suspense* serat karbon dengan persebaran terbaik pada masing-masing dispersan ditambahkan pada campuran semen, agregat, dan air dengan variasi 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 % berat terhadap semen dan diaduk dengan *mixing machine*. Cetakan berbentuk tabung dengan ukuran 5 cm diameter dan 10 cm tinggi digunakan untuk membentuk sampel. Spektrofotometri UV-vis digunakan untuk karakterisasi dispersi serat karbon didalam *suspense*. Hasil UV-vis menunjukkan bahwa pada *Carboxymethyl selulosa* dan *super plasticizer* absorbansi meningkat saat konsentrasi antara 0, 0.4, dan pada maksimum point 0.8% peningkatan konsentrasi di atasnya akan berakibat pada penurunan nilai absorbansi. Di sisi lain, kenaikan konsentrasi NaOH dari 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 % berakibat pada kenaikan absorbansi dan menunjukkan dispesi serat yang sangat baik. Sifat *piezoristivity* diamati pada saat dilakukan pengujian kuat tekan dengan penambahan empat kumparan tembaga, dua kumparan luar sebagai sumber tegangan dan dua kumparan dalam sebagai *piezoresistance detector*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk semua variasi komposisi serat karbon nilai resistivitas awal menurun seiring penambahan komposisi serat. Dan nilai resistivitas juga menurun seiring bertambahnya beban tekan yang diberikan. Permukaan fraktur dan adhesi komposit diamati dengan pemindaian mikroskop elektron (SEM). Hasil pemindaian SEM menunjukkan bahwa adesi komposit sangat kuat. Gambar diambil tepat pada lokasi patahan tampak bahwa serat karbon membawa bagian beton yang masih tercengkeram kuat pada serat karbon.

Kata kunci : serat karbon, dispersi, *self-monitoring*, *piezoresistance*.



Halaman ini sengaja dikosongkan



**EFFECT OF DISPERSANT AND CARBON FIBER
COMPOSITIONS ON COMPRESSION STRENGTH AND
PIEZORESISTIVITY OF CONCRETE CARBON FIBER
REINFORCED COMPOSITE FOR CONCRETE SELF LOAD
MONITORING APPLICATIONS**

Name : MASHUDI
NRP : 2716201208
Advisor : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Co – Advisor : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc.

ABSTRACT

Carbon fiber reinforced concrete is a sensor base material, which can be used to realize the self -monitoring of concrete structures based on its piezoresistance. The Material's ability can be sensing an applied compressive load through a measureable change in resistivity. Dispersion step of carbon fibers affected greatly the mechanical and electrical properties of the composites. Three type of surfactans, Carboxymethyl cellulose, super plasticizer and NaOH used to help fiber dispersion using different concentration 0.4, 0.8, 1.2 and 1.6 / aquades % wt. and dispersion helped by magnetic stirrer in 350 rpm. Suspense carbon fiber with the best distribution of each surfactant added to the mixture of cement, aggregate, and water with variations 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8% by weight of cement and stirred with mixing machine. Tube molds of 5 cm in diameter and 10 cm in height were used to form the sample. UV-vis Spectrophotometry used for dispersion characterization of carbon fiber in suspense. The UV-vis results showed that in Carboxymethyl cellulose and super plasticizer absorbance increased at concentrations between 0, 0.4, and at a maximum point of 0.8% increase in concentration above it would result in a decrease in absorbance value. On the other hand, the increase in NaOH concentration from 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6% resulted in increased absorbance and showed excellent fiber dispersion. The piezoristivity properties was observed at the time of compressive strength testing by the addition of four copper coils, two external coils as a voltage source and two inner coils as a piezoresistance detector. The test results show that for all variations of the carbon fiber composition the initial resistivity value decreased with the addition of the fiber composition. And the resistivity value was also decreases as the added pressure load was applied. The fracture surface and adhesion of the composites observed by scanning electron microscopy. The result of SEM scanning showed that composite adhesion was very strong. The picture was taken right at the fault site it appears that the carbon fiber carried concrete parts that were still gripped strongly on the carbon fiber.

Keywords: carbon fiber, dispertion, self-monitoring, piezoresistance.



Halaman ini sengaja dikosongkan



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan proposal tesis yang berjudul **“pengaruh dispersan dan komposisi serat karbon terhadap sifat kekuatan tekan dan piezoresistivity komposit beton berpenguat serat karbon untuk aplikasi *concrete self load monitoring*”** Tidak lupa pula untaian sholawat dan salam kepada Rosulullah Muhammad SAW, Nabi yang menuntun manusia dari zaman yang kegelapan menuju zaman yang terang benderang, yang penuh dengan ilmu pengetahuan luar biasa saat ini.

Dengan ini penulis menyadari bahwa penulis tesis ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini tidak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam kegiatan penelitian maupun dalam penyusunan penulisan tesis ini.

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc. ES. Ph.D selaku rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Dr. Agung Purniawan, ST, M.Sc selaku ketua jurusan dan ketua prodi S2 Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Sigit Tri W., S.Si., M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang memberikan banyak kesabaran, waktu dan ilmu dalam membimbing penelitian dan penulis agar tesis ini tersusun dengan baik dan benar.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc selaku dosen pembimbing kedua yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan masukan dan bimbingannya hingga tesis ini terselesaikan.



5. Orang tua dan Istriku Lailatul Kumalasari yang senantiasa memberikan motivasi dan doa kepada penulis agar diberi kemudahan dalam menyelesaikan tesis ini.
6. Segenap dosen, Laboran dan admin jurusan teknik material dan metalurgi institut teknologi sepuluh nopember Surabaya yang senantiasa membantu dan memberikan ilmu pengetahuan serta pengarahannya.
7. Teman-teman jurusan teknik material dan metalurgi institut teknologi sepuluh nopember Surabaya yang memberikan motivasi agar terselesaikannya tesis ini
8. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan tesis ini.

Dalam Penyusunan tesis ini, penulis sangat menyadari masih ada banyak kekurangan dan kekeliruan dikarenakan keterbatasan kemampuan. Dengan kerendahan hati, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan tesis ini. Akhir kata, semoga tesis ini dapat menambah khasanah pustaka dan bermanfaat bagi orang lain.

Surabaya, Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	i
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. Komposit	5
2.1.1. Jenis Komposit Serat	5
2.1.2. Karakteristik Material Komposit	8
2.2. Beton	11
2.2.1. Kuat Tekan Beton	12
2.2.2. Tegangan Pada Beton	13
2.3. Serat Karbon	16
2.4. Serat Karbon sebagai konduktor	17
2.5. Serat Karbon Tipe PAN (Polyacrylonitrile)	19
2.6. Dispersan	20
2.6.1. CMC (<i>Carboxymethyl Cellulose</i>)	21
2.6.2. SP (<i>Super Plastisizer</i>)	22
2.6.3. Natrium Hidroksida (NaOH)	23
2.7. Piezoresistivity	24
2.8. Efek tunnel	27
2.9. Tinjauan Pustaka terkait penelitian sebelumnya	29



BAB 3 METODE	35
3.1. Diagram Alir Penelitian	35
3.1.1. Diagram Alir Pembuatan Suspense Serat Karbon	35
3.1.2. Diagram Alir Pembuatan <i>Beton-sensor base</i>	36
3.2. Bahan yang digunakan	37
3.3. Peralatan yang digunakan	39
3.4. Prosedur Penelitian	40
3.4.1. Pengaruh CMC (<i>carboxy methyl cellulose</i>)	40
3.4.2. Pengaruh SP (<i>super plasticizer</i>)	40
3.4.3. Pengaruh NaOH	41
3.4.4. Pembuatan Beton-Sensor base	41
3.5. Pengujian	41
3.5.1. UV-Vis	42
3.5.2. SEM (Scanning Electron Microscopy)	43
3.5.3. Uji Tekan	45
3.5 Rancangan Penelitian	48
3.6 Kegiatan dan Jadwal Rencana Penelitian Tesis	49
BAB 4 DATA DAN ANALISIS	51
5.1. Hasil karakterisasi UV-VIS	51
4.1.1. Pengaruh CMC (<i>carboxy methyl cellulose</i>)	51
4.1.2. Pengaruh SP (<i>Super plasticizer</i>)	53
4.1.3. Pengaruh NaOH	57
5.2. Pengujian Tekan dan <i>Piezoresistivitas</i>	61
4.2.1. Hambatan dan Hambatan Jenis Awal	61
4.2.2. Pengujian Tekan dan Resistivitas	63
4.2.3. Hasil <i>Piezoresistivity</i> atau <i>Gage Factor</i>	70
5.3. Hasil Pengujian SEM	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81







DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Continuous Fibre Composite (Jones,1999)	6
Gambar 2. 2. <i>Woven Fibre Composite (Bi-Rectional)</i> , (Jones, 1999).....	6
Gambar 2. 3. <i>Discountinous Fibre Composite</i> (Jones,1999).	7
Gambar 2. 4. <i>Hybrid Fibre Continuous</i> (Jones, 1999).....	8
Gambar 2. 5. Tegangan normal (normal stress) pada batang.....	14
Gambar 2. 6. Arah tegangan normal (normal stress) dan pola retak pada silinder	14
Gambar 2. 7. letak basal and edge planes berada pada <i>Highly Ordered Pyrolytic Graphite</i> (HOPG), (Brownson, 2014).....	17
Gambar 2. 8. <i>Basal And Edge Planes Rate</i> pada Berbagai Jenis Karbon (Brownson, 2014).....	18
Gambar 2. 9. (a) Struktur kimia polyacrylonitrile (b) Serat karbon tipe PAN	19
Gambar 2. 10. CMC (<i>Carboxymethyl Cellulose</i>).....	21
Gambar 2. 11. beton pintar (<i>self-monitoring</i>)(NBC learn, 2010)	24
Gambar 2. 12. Prinsip Kerja <i>Piezoresistivity</i> (NBC learn, 2010)	24
Gambar 2. 13. Skema pengujian kuat tekan.....	25
Gambar 2. 14. Schematic of the conduction by tunneling effect between Carbon Fibers and its representation as electrical resistances (Cen.,dkk, 2018)	27
Gambar 2. 15. Schematic of the piezoresistive model driven by tunneling effect. a) RVE, b) RVE with the CF and thin polymer interlayers represented as series electrical resistors, c) effective electrical resistance of the RVE (Cen.,dkk, 2018)	28
Gambar 2. 16. Compressive force vs. voltage generated by the CFRC (Sun, 2000)	29
Gambar 2. 17. sensor sampel (Azhari, 2012).....	30
Gambar 2. 18. <i>Response of CF cement-based sensors to monotonic compressive loading</i> (Azhari, 2012)	31
Gambar 2. 19. <i>Digital photos of carbon fibers in aqueous solution. (a) Poor dispersion without HEC and (b) good dispersion with HEC</i> (Wang, 2007).....	31
Gambar 2. 20. <i>Compressive strength as a function of fiber mass fractions (a) good dispersion of carbon fibers and (b) poor dispersion of carbon fibers</i> (Wang, 2007).	32
Gambar 3. 1. Diagram Alir Pembuatan Suspense Serat Karbon.....	35
Gambar 3. 2. Diagram Alir Pembuatan Beton-Sensor base.....	36
Gambar 3. 3. Prinsip kerja spektrofotometer UV-vis	42
Gambar 3. 4. Scanning Electron Microscope (SEM) S50	44
Gambar 3. 5. Instalasi alat uji tekan (a) seluru bentuk instalasi (b) perbesaran kondisi pada sampel. (Azhari, 2012).....	45



Gambar 4. 1. Hasil karakterisasi UV-VIS dispersi serat karbon dengan konsentrasi CMC	51
Gambar 4. 2. (a) Sampel Suspens dari persebaran terendah ke tertinggi dan (b) nilai absorbansi serat karbon dengan konsentrasi CMC.....	52
Gambar 4. 3. Hasil karakterisasi UV-VIS sebaran karbon berbagai konsentrasi SP (Super Plasticizer).....	54
Gambar 4. 4. Sampel Suspens dari persebaran terendah ke tertinggi dan nilai absorbansi serat karbon dengan konsentrasi SP (Super Plasticizer).....	55
Gambar 4. 5. Surfactans dispersion modeling	56
Gambar 4. 6. Hasil karakterisasi UV-VIS dispersi serat karbon dengan konsentrasi NaOH.....	58
Gambar 4. 7. Sampel Suspens dari persebaran terendah ke tertinggi dan nilai absorbansi serat karbon dengan konsentrasi NaOH	59
Gambar 4. 8. NaOH dispersion modeling	60
Gambar 4. 9. Sampel beton berpenguat serat karbon dengan variasi berat serat karbon (0.2, 0.4, 0.6, 0.8)% berat dengan 4 elektroda tembaga.	61
Gambar 4. 10. Hasil Pengujian Hambatan Jenis awal	62
Gambar 4. 11. Hasil Pengujian tekan dan Nilai Resistivitas pada Variasi Komposisi Serat Karbon 0.2% berat.	64
Gambar 4. 12. Hasil Pengujian tekan dan Nilai Resistivitas pada Variasi Komposisi Serat Karbon 0.4% berat.	65
Gambar 4. 13. Hasil Pengujian tekan dan Nilai Resistivitas pada Variasi Komposisi Serat Karbon 0.6% berat.	66
Gambar 4. 14. Hasil Pengujian tekan dan Nilai Resistivitas pada Variasi Komposisi Serat Karbon 0.8% berat.	67
Gambar 4. 15. Grafik pengaruh fraksi massa karbon fiber terhadap kekuatan tekan beton.	69
Gambar 4. 16. Grafik Gage Factor atau Piezoresistivity pada beton komposisi serat karbon 0,2 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan (b) perbandingan GF pada Strain ($\mu\epsilon$)	71
Gambar 4. 17. Grafik Gage Factor atau Piezoresistivity pada beton komposisi serat karbon 0,4 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan (b) perbandingan GF pada Strain ($\mu\epsilon$)	72
Gambar 4. 18. Grafik Gage Factor atau Piezoresistivity pada beton komposisi serat karbon 0,6 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan (b) perbandingan GF pada Strain ($\mu\epsilon$)	73
Gambar 4. 19. Grafik Gage Factor atau Piezoresistivity pada beton komposisi serat karbon 0,8 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan (b) perbandingan GF pada Strain ($\mu\epsilon$)	74



Gambar 4. 20. Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan dengan perbesaran 150 kali.....	75
Gambar 4. 21. Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan fokus pada satu serat dengan perbesaran 1000 kali.....	76
Gambar 4. 22. Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan fokus pada ujung ke ujung serat karbon.....	77
Gambar 4. 22. Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan fokus pada ujung ke ujung serat karbon dengan jarak 3.586 μm	78



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Hubungan antara rasio air-semen (w/c) atau rasio air-bahan bersifat semen {w/(c+p)} dan kekuatan beton.....	15
Tabel 2. 2. Kelebihan dan kekurangan dari serat karbon.....	16
Tabel 2. 3. Karakteristik Serat Karbon Jenis PAN.....	19
Tabel 2. 4. Percampuran material	29
Tabel 3. 1. Rancangan Penelitian Pembuatan Suspense serat karbon.....	48
Tabel 3. 2. Rancangan Penelitian Pembuatan Beton-Sensor Base.....	48
Tabel 3. 3. Kegiatan Tesis.....	49
Tabel 4. 1 Nilai Absorbansi Maksimum pada setiap konsentrasi CMC	53
Tabel 4. 2. Nilai Absorbansi Maksimum pada setiap konsentrasi SP.....	56
Tabel 4. 3. Nilai Absorbansi Maksimum pada setiap konsentrasi NaOH.....	59
Tabel 4. 4. Nilai Hambatan Jenis awal.....	62
Tabel 4. 5. Rentang Nilai Resistivitas sebelum <i>micro cracking</i>	68



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Beton dengan perkuatan tulangan baja diindikasikan masih banyak yang tidak cukup kuat untuk menahan beban dinamis yang berlebihan. Masih sering dijumpai ruas jalan yang terbuat dari beton tetapi mempunyai umur pakai yang relatif tidak panjang, diindikasikan dengan seringnya perbaikan dalam setiap tahunnya. Sedangkan untuk mendeteksi beban tekan pada ruas jalan raya masih dibutuhkan penambahan suatu alat sensor (*embedded sensor system*). Tetapi dengan penambahan alat sensor tersebut maka biaya pembuatannya akan menjadi sangat tinggi (Wang, 2008).

Persyaratan atau karakteristik umum yang harus dimiliki oleh suatu sensor (sistem sensor), khususnya untuk aplikasi tegangan/regangan pada material beton, antara lain: Memiliki nilai rentang yang lebar (sensitif) dalam pendeteksian tegangan / regangan (misal dari regangan kecil hingga patah), Reversibilitas pada pemindahan stimulus agar sensor dapat digunakan kembali, Linieritas dan pengulangan sensor, Pengukuran sensor relatif mudah dan murah, Tidak merusak terhadap kekuatan struktur material, Memiliki stabilitas terhadap bahan kimia dan tahan lama, Memiliki biaya instalasi dan komponen rendah (Wang, 2008)

Upaya untuk menekan biaya pemakaian sensor dan maka perlu adanya inovasi teknologi yang multi fungsi baik sebagai material struktur maupun sebagai sensor, dengan tetap berpedoman pada kaidah-kaidah kekuatan struktur bangunan sipil dan memenuhi kriteria karakteristik umum sensor. Maka dalam penelitian ini akan dilakukan rekayasa beton sensor base dengan perkuatan serat karbon. Berdasarkan referensi, pada penelitian sebelumnya cenderung atau lebih banyak hanya pada perekayasaan mortar dengan penguat serat karbon (*carbon fiber reinforced mortar*) dan bukan beton dengan penguat serat karbon (*carbon fiber reinforced concrete*). Beton berbeda dengan mortar, karena biasanya beton mengandung coarse agregat (halus dan kasar) dan bahkan tulangan baja, sedangkan



dalam kelanjutan penelitian ini akan dilakukan perekayasaan serat karbon dalam beton yang lebih memiliki unsur sebagai material struktur dibandingkan dengan mortar biasa sehingga lebih memungkinkan untuk diaplikasikan secara in-situ pada ruas jalan raya. Konsep beton yang sekaligus berfungsi sebagai sensor tanpa penambahan sensor konvensional (*Self Healty Monitoring*) merupakan salah satu alternatif pemecahan masalah transportasi untuk menjaga ruas jalan mengalami kerusakan akibat beban kendaraan yang berlebihan. Banyaknya penemuan beton (*Self Healty Monitoring*) yang memiliki karakteristik dan lebih tersendiri. Salah satunya adalah beton sensor base dengan perkuatan serat karbon. Serat karbon disini merupakan polimer sintesis yaitu *polycrylonitrile* (PAN) yang ada dipasaran dalam berbagai bentuk. (Azhari, 2012)

Teknik penyebaran dan persen berat serat karbon dalam campuran beton merupakan penentu dalam keberhasilan teknologi beton dengan perkuatan serat karbon. Kesensitifan perubahan Resistivitas terhadap beban tekan (*piezoresistivity*) dipengaruhi oleh ikatan antara serat karbon dan matriks beton itu sendiri. Factor yang sangatlah penting adalah variasi komposisi dan dispersi serat karbon didalam beton sehingga mampu merespon deformasi elastik atau inelastik pada struktur beton yang baik. *Dispertion Agent* atau dispersan biasanya menggunakan Surfaktan jenis *Carboxymethyle Cellulose* dan *Super Plasticizer*. (C. Wang, 2008), bahan kimia dengan ion Na^+ atau biasa disebut *Na-hexametaphosphate* (HMP), $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$, NaOH , Na_2CO_3 , and NaOBr . juga bisa berperan sebagai dispersan dengan asumsi memiliki ion yang sangat kecil dan mampu masuk di sela-sela bahan yang akan didispersi (Wintermyer, 1955).

Oleh karena itu dalam penelitian ini perlu dilakukan percobaan pengaruh konsentrasi berbagai jenis dispersan untuk persebaran serat karbon optimum dan komposisi serat karbon yang optimum dan efektif sehingga mampu menjadi beton dengan sifat *piezoresistivity* yang baik dan dapat diaplikasikan sebagai *Self Healty Monitoring*.



1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh dispersan dan konsentrasi dispersan *Carboxymethyl Cellulose, Super Plasticizer polycarboxylate* dan NaOH terhadap dispersi serat karbon untuk komposit beton berpenguat serat karbon ?
2. Bagaimana pengaruh komposisi serat karbon untuk komposit beton berpenguat serat karbon terhadap kekuatan tekan dan piezoresistivity berupa perubahan resistivitas listrik seiring penambahan beban tekan untuk *concrete self load monitoring*?
3. Bagaimana sifat Komposit beton berpenguat serat karbon untuk aplikasi *concrete self load monitoring*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh dispersan dan konsentrasi dispersan *Carboxymethyl Cellulose, Super Plasticizer polycarboxylate* dan NaOH terhadap dispersi serat karbon untuk komposit beton berpenguat serat karbon.
2. Menganalisa pengaruh komposisi serat karbon untuk komposit beton berpenguat serat karbon terhadap kekuatan tekan dan piezoresistivity berupa perubahan resistivitas listrik seiring penambahan beban tekan untuk *concrete self load monitoring*.
3. Menganalisa sifat Komposit beton berpenguat serat karbon untuk aplikasi *concrete self load monitoring*

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Serat karbon dianggap homogen
2. Cetakan beton dianggap tidak terpengaruh oleh material.
3. Proses *curing* selesai dianggap seluruh bagian beton telah selesai bereaksi.



1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan memberikan klasifikasi jenis dispersan terbaik untuk persebaran serat karbon pada pembuatan beton *sensor base*. Menunjukkan bahan-bahan yang tepat dan teknik pencampuran yang *workable* serta terukur sehingga diperoleh beton yang layak dijadikan load cell. Beton berpenguat serat karbon dengan aplikasi concrete self load monitoring dapat diaplikasikan pada gedung bertingkat, jembatan, penimbang beban muat kendaraan di ruas jalan raya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit

Didalam dunia industri kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti penggabungan atau pencampuran antara dua atau lebih bahan yang berbeda kemudian digabung menjadi satu. Bahan komposit terdiri dari dua fase yaitu matriks dan fasa terdispersi. Matriks berfungsi sebagai pengikat serat, sedangkan fasa terdispersi berupa serat. Serat inilah yang dapat menentukan karakteristik sifat mekanis dan fisis dari komposit yaitu kekuatan, kekakuan, keuletan, kelenturan, dan lain sebagainya (Surdia, 1992).

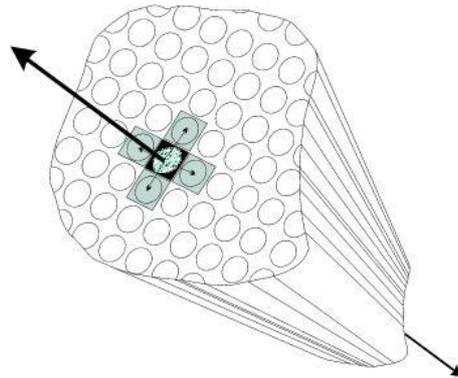
Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material yang dapat diatur kekuatannya sesuai dengan kehendak kita. Hal ini dinamakan tailoring properties dan ini adalah salah satu sifat istimewa komposit dibandingkan dengan material konvensional lainnya. Selain itu komposit tahan terhadap korosi yang tinggi serta memiliki ketahanan yang tinggi pula terhadap beban. Oleh karena itu, untuk bahan serat yang digunakan bahan yang kuat, kaku, dan getas, sedangkan bahan matriks dipilih bahan-bahan yang liat dan lunak (Hadi, 2001).

2.1.1. Jenis Komposit Serat

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa jenis serat pada komposit, yaitu :

1. Continuous Fibre Composite

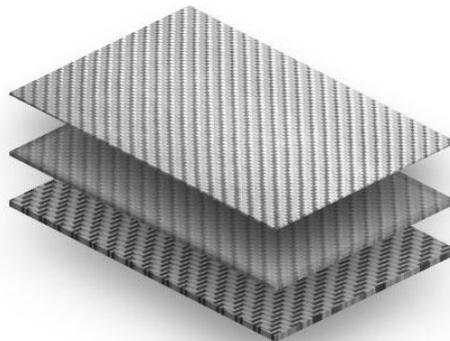
Tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Tipe ini mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan. Ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Continuous Fibre Composite (*Jones, 1999*)

2. Woven Fibre Composite (*Bi-Rectional*)

Komposit jenis ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. Susunan seratnya memanjang yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan melemah. Gambar 2.2.



Gambar 2. 2. Woven Fibre Composite (*Bi-Rectional*), (*Jones, 1999*)

3. Discontinuous Fibre Composite

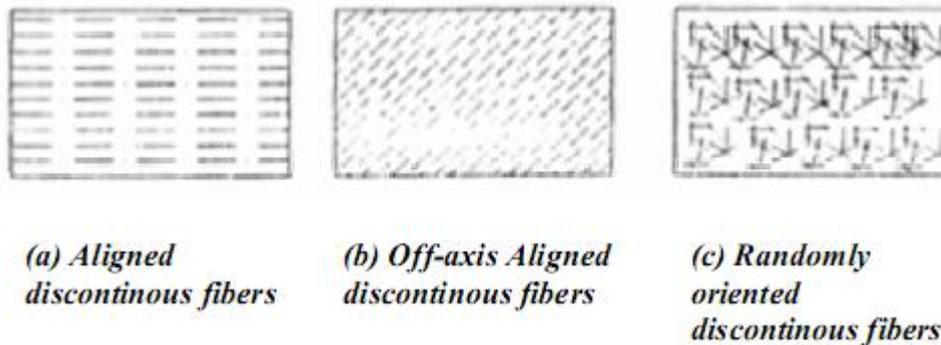
Discontinuous fibre composite adalah tipe serat pendek. Komposit yang diperkuat oleh serat pendek pada umumnya menggunakan resin sebagai matriksnya. Dalam pembuatan komposit serat pendek ini dipotong-potong pendek 20-100 mm panjangnya. Tipe ini dibagi menjadi tiga macam yaitu dan ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Aligned Discontinuous Fibre, yaitu untuk mendapatkan komposit jenis ini digunakan teknik yang berbeda dengan terorientasi acak, yaitu lay up. Metode ini khusus digunakan cetak suntik (injection moulding) dan proses ekstruksi.

Off-Axis Aligned Continuous Fibre, yaitu untuk mendapatkan komposit jenis ini digunakan teknik yang berbeda dengan terorientasi acak, yaitu lay up. Metode ini khusus digunakan cetak suntik (injection moulding) dan proses ekstruksi. Perbedaannya dengan aligned discontinuous fibre adalah hanya penempatan posisi serat dalam cetakan.

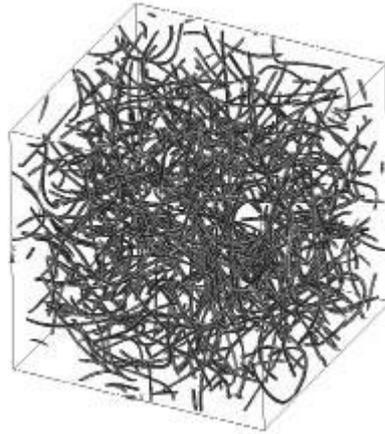
Randomly Oriented Continuous Fibre, yaitu pembuatan komposit jenis ini dilakukan dengan teknik hand lay up. Ukuran serat dapat dipilih untuk mendapatkan perbedaan jumlah penyebaran serat selama pencetakan.



Gambar 2. 3. *Discountinous Fibre Composite* (Jones,1999).

4. *Hybrid Fibre Continuous*

Hybrid fibre continuous merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dan serat acak. Ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4. *Hybrid Fibre Continuous* (Jones, 1999)

2.1.2. Karakteristik Material Komposit

Salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan karakteristik material komposit adalah perbandingan antara matriks dengan serat. Sebelum melakukan proses pencetakan komposit, terlebih dahulu dilakukan perhitungan perbandingan keduanya.

Dalam menentukan perbandingan antara komponen matriks dengan serat (pengisi) material komposit ini biasanya dilakukan dengan menggunakan metode konversi fraksi volume menjadi fraksi berat (Sulistijono, 2012).

Bila v_c adalah volume komposit yang mengandung volume fiber v_f dan volume matriks v_m , fraksi volume fiber V_f dan fraksi volume V_m , serta berat komposit w_c , berat fiber w_f , berat matriks w_m , fraksi berat fiber W_f dan fraksi berat matriks W_m maka:



$$V_f = \frac{v_f}{v_c} ; V_m = \frac{v_m}{v_c} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} ; W_m = \frac{w_m}{w_c} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan mengetahui densitas dari komposit ρ_c , fiber ρ_f , dan matriks ρ_m maka bisa diperoleh konversi dari fraksi volume ke fraksi berat dan sebaliknya.

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot \frac{v_f}{v_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot V_f \dots\dots\dots (2.3)$$

$$V_f = \frac{\rho_c}{\rho_f} \cdot W_f$$

$$V_m = \frac{\rho_c}{\rho_m} \cdot W_m$$

w_c = berat komposit (gr),

w_f = berat serat (gr),

w_m = berat matriks (gr),

v_f = volume (cm³),

W_f = fraksi berat fiber (%),

V_f = fraksi volume fiber (%),

V_m = fraksi volume matriks (%).



Untuk mencari densitas komposit ρ_c ,

$$\rho_c = \frac{1}{\left(\frac{W_f}{\rho_f}\right) + \left(\frac{W_m}{\rho_m}\right)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk mencari berat fiber yang dibutuhkan w_f dan berat matriks yang dibutuhkan w_m , menggunakan persamaan (2.3) sehingga didapatkan persamaan berikut;

$$w_f = v_f \cdot \rho_f \dots\dots\dots (2.5)$$

$$w_m = v_m \cdot \rho_m \dots\dots\dots (2.6)$$



2.2. Beton

Beton adalah suatu hasil pencampuran dari semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan, yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat disebut kasar apabila ukurannya melebihi 5 mm.

Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton, keras dan daya tahannya disintergrasi beton. Agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan pasta semen. Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir, ukurannya bervariasi antara ukuran no.4 sampai no.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, dan bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik sesuai dengan standart.

Semen merupakan pengisi pori-pori antara butiran-butiran agregat halus dan agregat kasar juga berfungsi sebagai perekat dalam proses pengerasan, sehingga butiran agregat saling terikat dengan kuat dan padat. Didalam campuran beton air mempunyai fungsi sebagai pelancar campuran agregat dan semen agar memudahkan pengadukan dan pencetakan.

Bahan – bahan pembuat beton pada keadaan pengujian tertentu, jumlah air campuran yang dipakai menentukan kekuatan beton, selama campuran cukup plastis dan dapat dikerjakan (Murdock, 1986). Beton yang banyak digunakan saat ini adalah beton normal. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200 – 2500 kg/m³ (Susilorini, dkk, 2009) dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah dan yang tidak menggunakan bahan tambahan (admixture).



Penambahan bahan tambah akan mempengaruhi kemudahan pengerjaan dan tanpa harus mengurangi tingkat kekuatan kuat tekan rencananya. Beton yang menggunakan bahan tambah biasanya dapat dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat dihilangkan/dikurangi, selain itu juga beton dapat lebih homogen, koheren dan stabil selama dikerjakan serta dapat digetarkan tanpa harus terjadi segregasi/pemisahan butiran dari bahan-bahan utama dan dapat mengalir kedalam cetakan di sekitar tulangan.

2.2.1. Kuat Tekan Beton

Beton yang dirancang harus memenuhi persyaratan kuat tekan rata-rata berdasarkan data deviasi standar hasil uji kuat tekan beton pada umur 28 hari. Persyaratan kuat tekan didasarkan pada hasil uji kuat tekan. Sifat beton pada umumnya lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi, dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya dilakukan dengan meninjau kuat tekannya. Kuat tekan beton adalah perbandingan antara beban terhadap luas penampang beton (Susilorini dkk, 2009).

Menurut Susilorini dan Suwarno (2009) faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton antara lain :

1. Faktor Air Semen dan Kepadatan

Hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan beton diusulkan oleh Duff Abram, 1919 dalam (Susilorini dan Suwarno, 2009) sebagai berikut.

$$f'_c = A/B^{1,5x}$$

dimana :

f'_c : Kuat tekan beton (MPa)

X : f.a.s

A,B : Konstanta



Dari persamaan diatas, dapat dilihat bahwa semakin rendah nilai faktor air semen maka akan semakin tinggi kuat tekan betonnya.

2. Umur Beton

Kuat tekan beton bertambah seiring dengan bertambahnya umur beton. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, Semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya.

3. Jumlah Semen

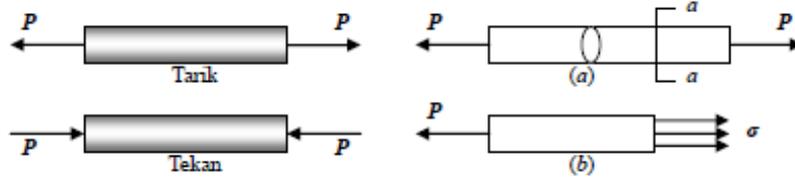
Jika nilai slump sama (nilai faktor air semen berubah), beton dengan kandungan semen lebih banyak mempunyai kuat tekan lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena jika nilai slump sama dan jumlah air juga hampir sama maka mempengaruhi penambahan semen hal ini berarti pengurangan nilai faktor air semen yang berakibat penambahan kuat tekan betonnya.

4. Sifat Agregat

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Permukaan yang halus dan kasar berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Sedangkan ukuran maksimum agregat akan mempengaruhi kuat tekan betonnya.

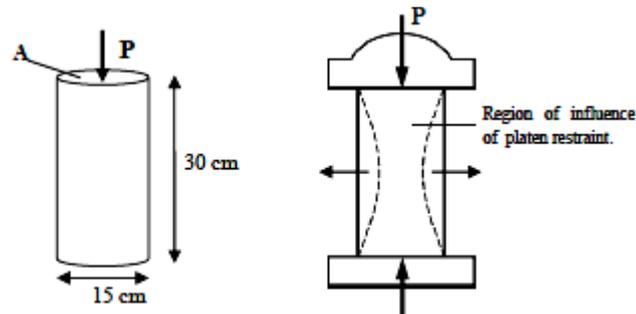
2.2.2. Tegangan Pada Beton

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Intensitas gaya yaitu gaya persatuan luas disebut tegangan dan diberi notasi " σ " (sigma). Gaya P yang bekerja tegak lurus (normal) pada penampang melintang a-a secara actual merupakan resultan distribusi gaya-gaya yang bekerja pada penampang melintang dengan arah normal ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5. Tegangan normal (normal stress) pada batang

Dengan mengansumsikan bahwa tegangan terbagi terbagi rata di seluruh penampang, dapat dilihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang (A). Arah tegangan normal (normal stress) dan pola retak pada silinder ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6. Arah tegangan normal (normal stress) dan pola retak pada silinder

Dengan demikian didapatkan persamaan :

$\sigma = P/A$, dimana :

A : Luas penampang (cm^2)

P : Beban maksimum (kg)

σ : Kuat Tekan (kg/cm^2)



Rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang diperlukan tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh beberapa faktor diantaranya oleh keawetan. Oleh karena agregat, semen, dan bahan bersifat semen yang berbeda-beda umumnya menghasilkan kekuatan yang berbeda untuk rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang sama, sangat dibutuhkan adanya hubungan antara kekuatan dengan w/c atau $w/(c+p)$ dari bahan-bahan yang sebenarnya akan dipakai. Bila data ini tidak ada, maka perkiraan dan nilai lama dari beton yang menggunakan semen Portland tipe I, diberikan dalam Tabel 2.1. Dengan bahan-bahan tertentu, nilai w/c atau $w/(c+p)$ akan memberikan kekuatan seperti dalam Tabel 2.1, berdasarkan hasil pengujian benda uji umur 28 hari yang dipelihara dalam kondisi baku di laboratorium.

Kekuatan rata - rata harus melebihi kekuatan yang disyaratkan dengan perbedaan yang cukup tinggi untuk menggunakan hasil-hasil uji yang rendah dalam rentang batas tertentu.

Tabel 2. 1. Hubungan antara rasio air-semen (w/c) atau rasio air-bahan bersifat semen $\{w/(c+p)\}$ dan kekuatan beton

Kekuatan beton umur 28 hari, Mpa*	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Sumber : SNI 7656:2012



2.3. Serat Karbon

Serat karbon telah banyak digunakan sebagai bahan penguat untuk material komposit untuk aplikasi di ruang angkasa, teknik sipil, militer, dan olah raga. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa serat karbon dapat meningkatkan kekuatan lentur dan ketangguhan, performa tarik, resistensi dampak dan daya tahan bahan semen secara signifikan (Chung, 2000).

Tabel 2. 2. Kelebihan dan kekurangan dari serat karbon

Kelebihan serat karbon	Kekurangan Serat Karbon
Tensile strength dan modulus tinggi, Koefisien ekspansi panas rendah, Kestabilan panas pada temperature 3000°C (dalam kondisi ada oksigen), Ketahanan jalar yang sangat baik, Biokompatibel, Konduktivitas panas tinggi, Ketahanan listrik rendah, Tersedia dalam bentuk <i>continuous</i> , Cost menurun (versai waktu)	Anisotropik, Regangan rendah hingga terjadi kegagalan, Keuatan tekan rendah jika dibandingkan tensile strength, Cenderung teroksidasi dan menjadi gas (contoh: CO) jika dipanaskan diudara diatas 400°C, Oksidasi serat karbon akan lebih cepat dalam lingkungan alkali

Sumber: Chung, 2000

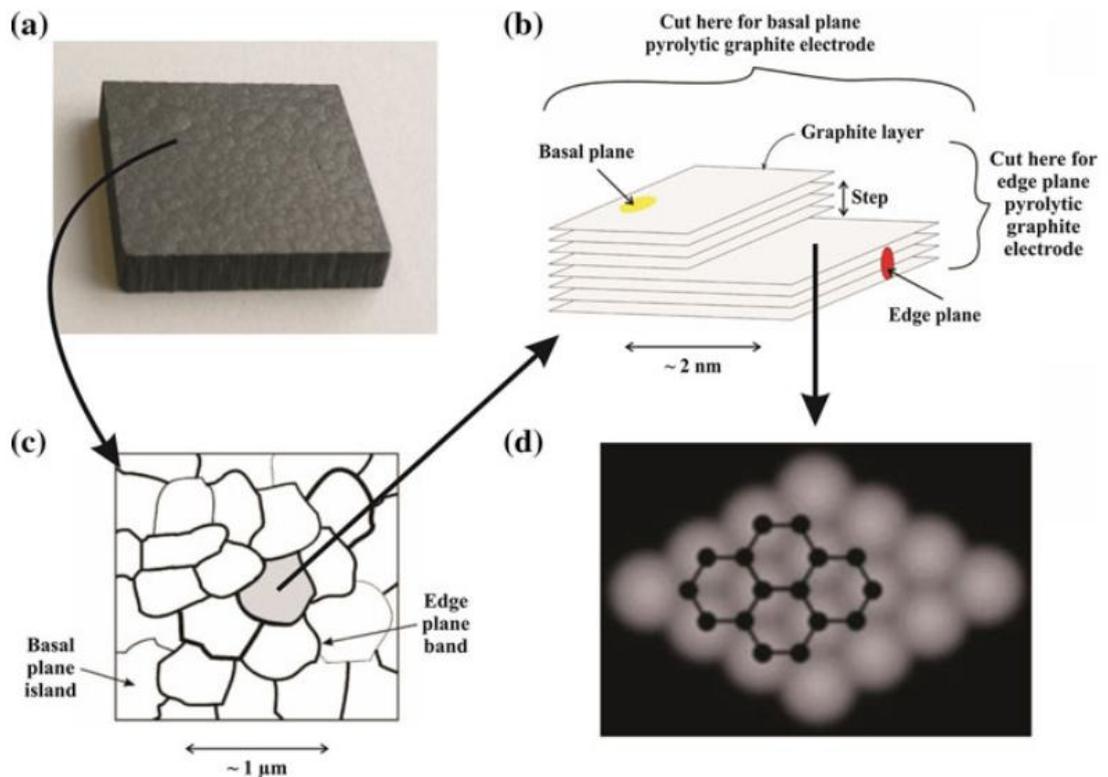
Sifat – sifat serat karbon tergantung dari bentuk dan struktur susunannya. Kelebihan dan kekurangan dari serat karbon dapat dilihat pada tabel 2.1. Seperti yang telah dikemukakan bahwa sifat – sifat tersebut didefinisikan oleh struktur serat karbon, perbedaan sifat tersebut saling berkaitan.

Trend yang dibentuk adalah sebagai berikut : Bertambahnya nilai tensil modulus, Menurunnya regangan hingga terjadi kegagalan, Menurunnya nilai kuat tekan, Bertambahnya nilai shear modulus, Bertambahnya derajat anisotropy, Menurunnya tahanan listrik, Bertambahnya konduktivitas panas, Menurunnya

koefisien thermal ekspansi, Bertambahnya densitas, Bertambahnya densitas panas (ketahanan oksidasi), Bertambahnya kestabilan kimia, Bertambahnya harga.

2.4. Serat Karbon sebagai konduktor

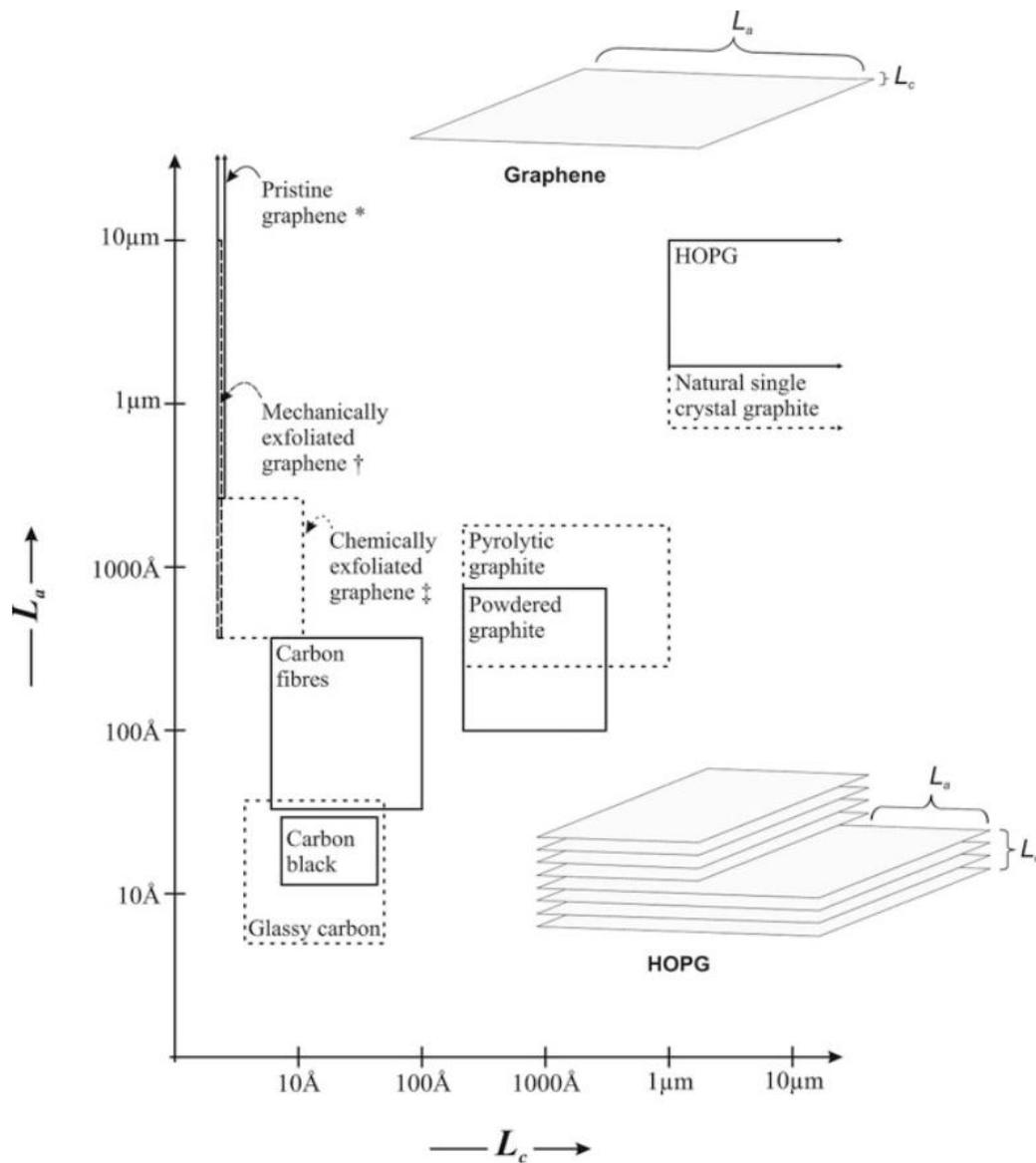
Permukaan grafit bersifat heterogen (anisotropik), dengan keseluruhan reaktivitas kimia dan elektrokimia sangat berbeda antara dua kontribusi struktural dan mendasari perilaku elektroda grafit, yang biasa disebut (L_a basal planes) dan (L_c edge planes) (Brownson, 2014). Gambar 2.7 menunjukkan letak basal and edge planes pada lempeng grafit.



Gambar 2. 7. letak basal and edge planes berada pada *Highly Ordered Pyrolytic Graphite* (HOPG), (Brownson, 2014)



Gambar 2.7. menunjukkan lempengan HOPG yang tersedia secara komersial. Gambar 2.7b Skema representasi sisi pada pandangan permukaan HOPG, fokus pada *basal plane and edge plane* . Gambar 2.7c Representasi skematis dari permukaan HOPG yang menunjukkan *basal plane and edge plane*. Gambar 2.7d Scanning Tunneling mikroskop STM khas dari permukaan HOPG dengan fragmentasi struktur graphene. Gambar 2.8 menunjukkan posisi serat karbon pada *basal and edge planes rate*.

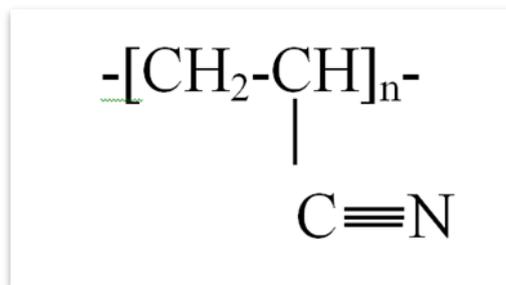


Gambar 2. 8. *Basal And Edge Planes Rate* pada Berbagai Jenis Karbon (Brownson, 2014).



2.5. Serat Karbon Tipe PAN (Polyacrylonitrile)

Dengan mengacu pada sifat – sifat unggul yang dimiliki maka digunakan serat karbon tipe PAN Polyacrylonitrile yang memiliki ukuran Kristal kecil dan padat, maka memberikan sifat fleksibilitas yang baik, tensil strength dan compressive strength yang tinggi jika dibandingkan dengan tipe serat karbon lain. Gambar 2.9 menunjukkan struktur kimianya.



(a)



(b)

Gambar 2. 9. (a) Struktur kimia polyacrylonitrile (b) Serat karbon tipe PAN

Tabel 2. 3. menunjukkan bahwa resistivitas serat karbon tipe PAN sangat rendah sehingga mampu menjadi konduktivitas yang baik dan memiliki kesensitifan terhadap perubahan tegangan dan regangan. Serat karbon selain sebagai penguat juga berfungsi sebagai sensor pada beton itu sendiri sehingga tidak memerlukan tambahan alat sensor lain. Serat karbon yang digunakan hanya dalam jumlah sedikit yaitu kurang dari 0.6% berat matriks.

Tabel 2. 3. Karakteristik Serat Karbon Jenis PAN

Properties	Numbers
<i>Density</i>	1.76 g/cm ³
<i>Ultimate tensile strength</i>	3450 Mpa
<i>Modulus of elasticity</i>	231 Gpa
<i>Elongation at break</i>	1.4%
<i>Electrical resistivity</i>	1.8 x 10 ⁻³ Ω.cm
<i>CTE, linierity</i>	-0.600 m/m°C
<i>Thermal conductivity</i>	8.50 W/m K
<i>Carbon content</i>	99 wt. %

Sumber: Sun, 2000



Selain itu, beton yang diperkuat serat karbon beton menunjukkan sifat piezoresistivity (Sun, 2000), yaitu sifat yang memungkinkan adanya perubahan resistivitas material akibat adanya perubahan tegangan mekanik yang diterima oleh material tersebut.

Sifat ini membuat komposit beton serat karbon menjadi material cerdas yang mampu mendeteksi perubahan beban mekanik secara real time pada sistem infrastruktur sipil kritis, seperti pada jembatan dan bendungan. Pada teknologi ini, beton itu sendiri adalah sensor (Sun, 1999).

Namun, serat karbon yang bersifat hidrofobik seringkali membentuk aglomerat sehingga sukar terdispersi di dalam air dan matriks semen. Aglomerasi membuat serat karbon tidak tersebar merata dan tidak bisa membentuk jaringan kontinyu dalam matriks sehingga mempengaruhi sifat piezoresistivitasnya. Oleh karena itu penggunaan efektif dari serat karbon dalam semen memerlukan dispersi seragam (Wang, 2008).

2.6. Dispersan

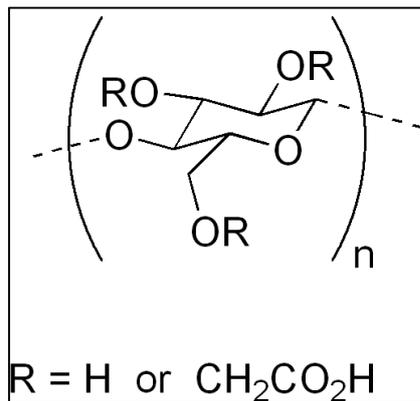
Untuk meningkatkan dispersi, beberapa peneliti melakukan modifikasi permukaan serat karbon dan penambahan dispersan sehingga tegangan permukaan serat karbon berubah. Modifikasi permukaan serat karbon dengan ozon berhasil meningkatkan pembasahan oleh air, sehingga meningkatkan ikatan serat karbon dengan matriks (Fu 1998).

melaporkan bahwa penambahan gugus silan pada serat karbon dapat meningkatkan sifat mekanik serat karbon. (Wang dkk. 2008) membuat komposit serat karbon semen menggunakan hidroksietil selulosa dan gelombang ultrasonik untuk membantu dispersi serat karbon.



2.6.1. CMC (*Carboxymethyl Cellulose*)

Dalam penelitian ini, CMC digunakan sebagai bahan pendispersi. Karboksimetil selulosa (CMC) atau bubuk tylose adalah turunan selulosa dengan gugus karboksimetil (-CH₂-CO₂H) yang terikat pada beberapa gugus hidroksil dari monomer glukopiranososa yang membentuk tulang selulosa yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10. CMC (*Carboxymethyl Cellulose*)

Setelah reaksi awal, campuran yang dihasilkan menghasilkan sekitar 60% CMC ditambah 40% garam (natrium klorida dan natrium glikolat). Produk ini disebut CMC teknis yang digunakan dalam deterjen. Proses pemurnian lebih lanjut digunakan untuk menghilangkan garam ini untuk menghasilkan CMC murni yang digunakan untuk aplikasi makanan, farmasi, dan pasta gigi (pasta gigi). Nilai "semipurified" menengah juga diproduksi, biasanya digunakan dalam aplikasi kertas seperti restorasi dokumen arsip.

Sifat fungsional CMC bergantung pada tingkat substitusi struktur selulosa (yaitu, berapa banyak gugus hidroksil yang ambil bagian dalam reaksi substitusi), serta panjang rantai struktur tulang selulosa dan tingkat pengelompokan substituen karboksimetil.



2.6.2. SP (*Super Plastisizer*)

Digunakan juga (SP) Super Plastisizer Untuk mengurangi penggunaan air agar kekuatan beton meningkat biasanya digunakan water reducer based *polycarboxylate* yang bersifat super plastisizer dan dapat berfungsi sebagai dispersan serat karbon dalam matriks beton sensor base.

Superplasticizers, yang juga dikenal sebagai high water reducer, adalah campuran kimia yang digunakan untuk suspensi partikel terdispersi dengan baik. Polimer ini digunakan sebagai dispersan untuk menghindari segregasi partikel (pasir kerikil, kasar dan pasir halus), dan untuk memperbaiki karakteristik aliran (reologi) suspensi seperti pada aplikasi beton. Penambahannya terhadap beton atau mortar memungkinkan pengurangan rasio air terhadap semen, tidak mempengaruhi kemampuan kerja campuran, dan memungkinkan produksi beton konsolidasi dan beton dengan kinerja tinggi. Efek ini secara drastis meningkatkan kinerja pasta segar pengerasan. Kekuatan beton meningkat bila rasio air terhadap semen menurun. Namun, mekanisme kerja mereka kurang memiliki pemahaman penuh, mengungkapkan dalam kasus tertentu in-kompatibilitas semen-superplasticizer.



2.6.3. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium Hidroksida (NaOH) merupakan salah satu senyawa ion yang bersifat basa kuat, kaustik dan memiliki sifat korosif dan higroskopik (suka menyerap air). Dalam kehidupan kita sehari-hari, senyawa ini biasa kita sebut dengan nama "soda api" atau kaustik soda, namun untuk nama resmi atau nama perdagangannya senyawa ini biasa disebut dengan nama Sodium Hidroksida. Tingkat kelarutan senyawa natrium hidroksida di dalam air cukup tinggi.

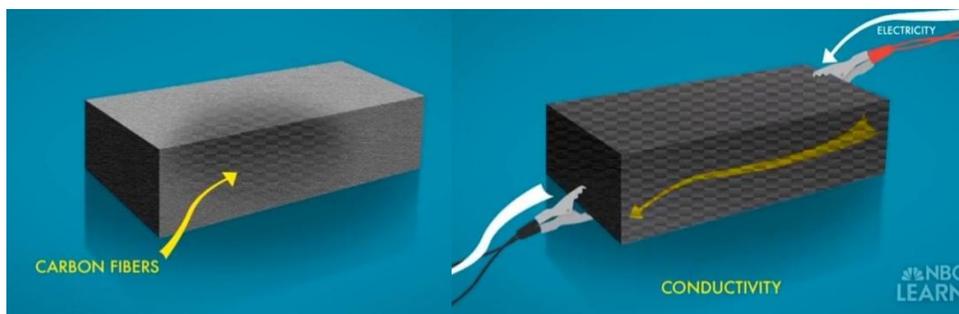
Perlakuan alkali (KOH, LiOH, NaOH) terhadap serat dilakukan untuk memisahkan lignin dan kontaminan yang terkandung di dalam serat, sehingga didapat serat yang lebih bersih.

NaOH merupakan larutan basa yang tergolong mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. Menurut teori Arrhenius, basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion OH negative dan ion positif. Larutan basa memiliki rasa pahit, dan jika mengenai tangan terasa licin (seperti sabun). Sifat licin terhadap kulit itu disebut sifat kaustik basa (Wintermyer, 1955).

Salah satu indikator yang digunakan untuk menunjukkan kebasaan adalah lakmus merah. Bila lakmus merah dimasukkan ke dalam larutan basa maka berubah menjadi biru. Penelitian mengenal efek modifikasi kimia terhadap serat. menyebutkan bahwa perlakuan alkali meningkatkan kekuatan rekat antara serat dengan matrik. Kekuatan tarik disebutkan mengalami peningkatan sebesar 5%. Dibandingkan alkali lain seperti KOH dn LiOh, perlakuan alkali NaOH adalah yang paling baik. Penelitian menyatakan bahwa Na⁺ memiliki diameter partikel yang sangat kecil dimana dapat masuk ke pori terkecil serat dan masuk ke dalamnya sehingga dapat melepaskan minyak dan kontaminan lebih baik.

2.7. Piezoresistivity

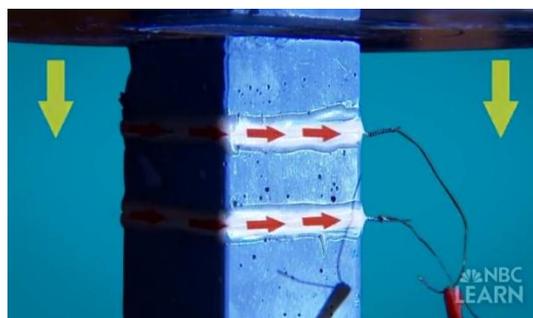
Piezoresistivity adalah kemampuan material untuk merespon beban tekan yang diberikan kepadanya dengan mengalami perubahan resistivitas. Material ini disebut Material pintar karena kemampuannya (self-monitoring) struktur material ditunjukkan pada gambar 2.11, beton dengan sifat konduktif yang baik merupakan kemampuan utamanya. Memiliki fungsi utama sebagai sensor dengan kemampuan dasar piezoresistivity, pengamatan akan tergantung pada perubahan resistivity terhadap beban tekan (applied strain). (Azhari, 2012).



Gambar 2. 11. beton pintar (*self-monitoring*)(NBC learn, 2010)

Ada tiga prinsip transduksi yang digunakan yang digunakan pada sensor self health monitoring (SHM): piezoresistivity, piezoelectricity, dan capacitance. Khusus untuk piezoresistivity berdasarkan pada sifat piezoresistive pada material selain logam. (Smith, 1954).

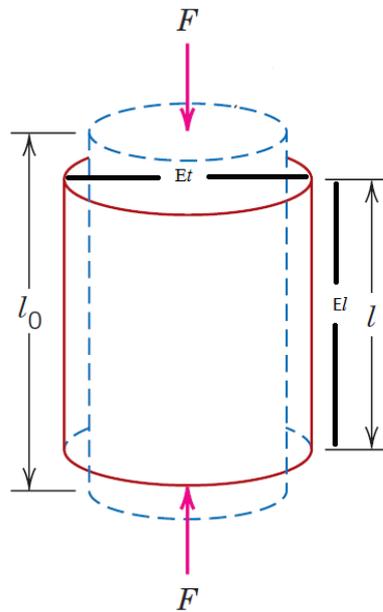
Perubahan resistansi sebagian besar disebabkan oleh perubahan geometri akibat tegangan mekanik yang diaplikasikan pada gambar 2.12. Dalam kasus di mana itu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan resistensi sederhana yang berasal dari hukum Ohm.



Gambar 2. 12. Prinsip Kerja *Piezoresistivity* (NBC learn, 2010)



Pengujian kuat tekan hampir mirip dengan pengujian tarik, hanya saja arah gaya yang diberikan berbeda. Skema pengujian kuat tekan ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13. Skema pengujian kuat tekan

Persamaan 2.7 menunjukkan modulus elastisitas atau young's modulus hubungan antara stress dan strain. Dengan cara konversi negatif, Selain itu juga, saat l_0 lebih besar dari l_i maka compressive strains dicari dengan Persamaan 2.8. dan tentu saja dengan nilai yang negatif.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots (2.8)$$



Pada gambar 2.11 juga menunjukkan ϵ_t (strain transversal) dan ϵ_l (strain longitudinal) yang dapat digunakan untuk mengetahui poisson's ratio pada persamaan 2.9.

$$v = -\frac{\epsilon_t}{\epsilon_l} \dots\dots\dots (2.9)$$

Electrical resistivity (ρ) dihitung sebagai hambatan per unit lebar (Persamaan 2.10) dan hubungan antara perubahan hambatan (ΔR) dan strain (ϵ) (Persamaan 2.11) ;

$$R = \frac{\rho L}{A} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \epsilon(1 + 2v) + \frac{\Delta\rho}{\rho} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} = (1 + 2v) + \frac{1}{\epsilon} \frac{\Delta\rho}{\rho} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana

ρ adalah electrical resistivity (Ω cm),

R adalah resistance (Ω),

L adalah Conductor length (m),

A adalah Cross-sectional area of the current flow (m^2),

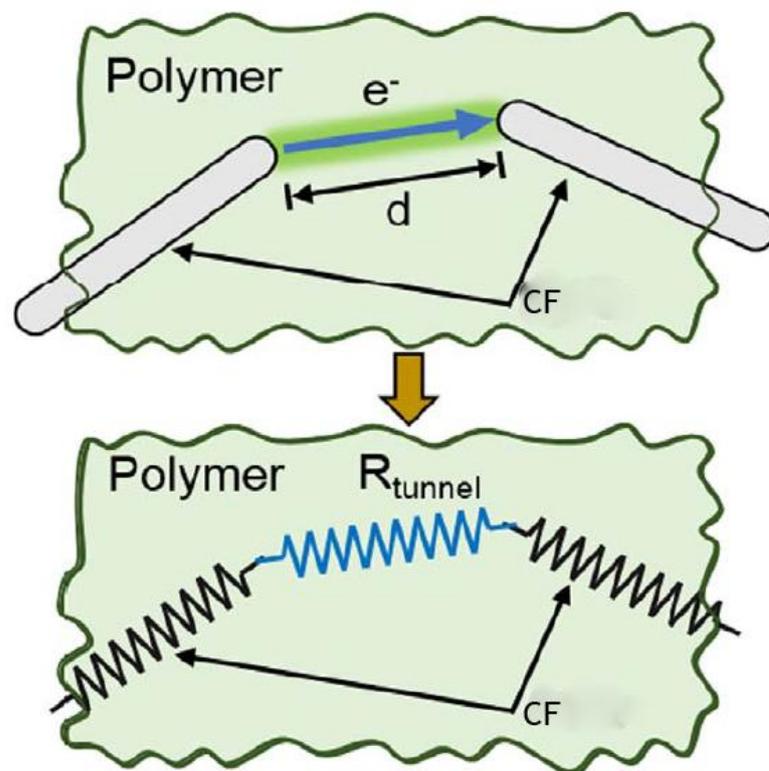
ϵ adalah Strain,

v adalah poisson's ratio dan

GF adalah gage factor

2.8. Efek tunnel

Efek tunnel mempunyai peran yang sangat penting pada material dengan sifat piezoresistivity. Efek tunnel memberikan penjelasan secara mikroskopik, bagaimana elektron melompat dari ujung ke ujung serat karbon pada jarak tertentu. Semakin dekat jarak antar ujung serat karbon maka elektron yang mampu melompat semakin banyak dan sebaliknya semakin lebar jarak antar ujung serat karbon maka elektron akan jauh lebih sulit melakuakn lompatan.

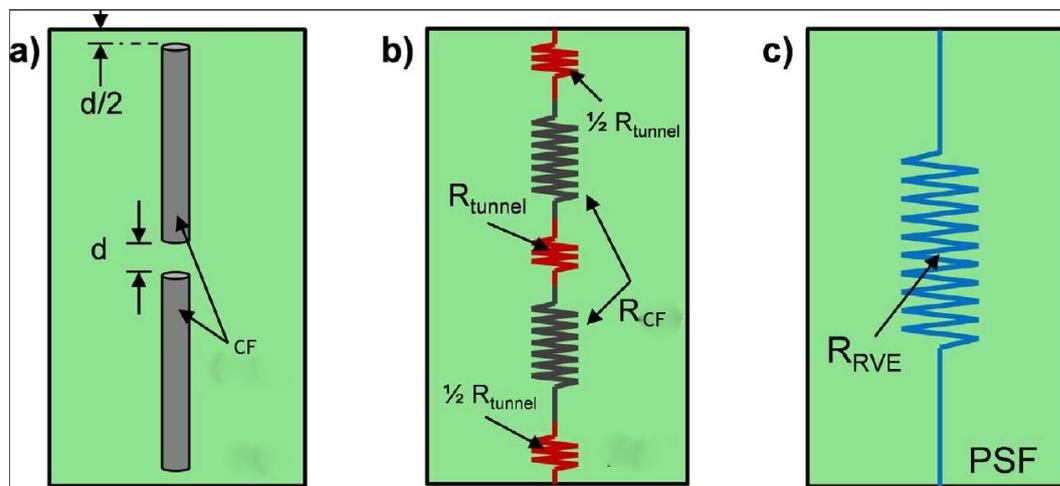


Gambar 2. 14. *Schematic of the conduction by tunneling effect between Carbon Fibers and its representation as electrical resistances (Cen.,dkk, 2018)*

Model tunneling piezoresistive digunakan untuk membuktikan perubahan resistansi listrik dari representative volume element RVE (R_{RVE}) karena jarak pemisah antar ujung – ujung karbon fiber disebut dengan distance (d) (dimana d mempunyai nilai yang sangat kecil dari micrometer), yang dilambangkan R_{tunnel} dan disebut efek tunneling. Ilustrasi efek tunneling ditunjukkan pada Gambar. 4.14.

Karbon fiber (CF) diwakili sebagai resistor listrik dengan nilai konstan (R_{CF}) dan interlayer polimer tipis dengan sifat listrik yang dimodifikasi memisahkan sepasang CF bersebelahan. diwakili oleh resistor R_{tunnel} tunneling, di mana R_{tunnel} adalah fungsi dari (d). Hambatan listrik dari RVE terdiri dari hambatan listrik 2 CF secara seri dengan 2 hambatan tunneling yang ditunjukkan pada Gambar 4.15.

$$R_{RVE}(d) = 2R_{CF} + 2R_{\text{tunnel}}(d)$$



Gambar 2. 15. Schematic of the piezoresistive model driven by tunneling effect. a) RVE, b) RVE with the CF and thin polymer interlayers represented as series electrical resistors, c) effective electrical resistance of the RVE (Cen.,dkk, 2018)



2.9. Tinjauan Pustaka terkait penelitian sebelumnya

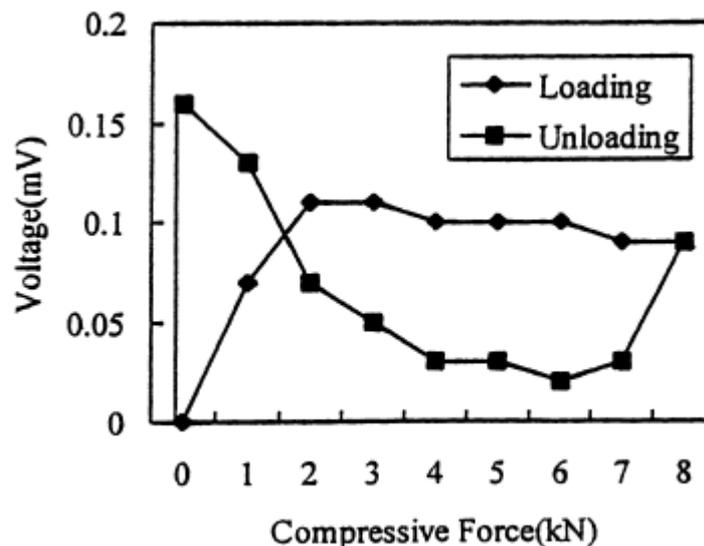
Beton berpenguat serat karbon adalah material yang secara intrinsik cerdas, yang dapat digunakan untuk mewujudkan self-monitoring beton. struktur berdasarkan efek piezoresistance dan efek Seebeck. Studi eksperimental dilakukan untuk memeriksa sifat piezoelektrik dari CFRC dan pasta semen polos. Dengan Mix proportion pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4. Percampuran material

Mix proportion of the specimens	(wt%)
Fiber/Cement (wt%)	0.3
Water / Cement (%)	30
Dispersing agent/Cemen (%)	0.4

Sumber: Sun, 2000

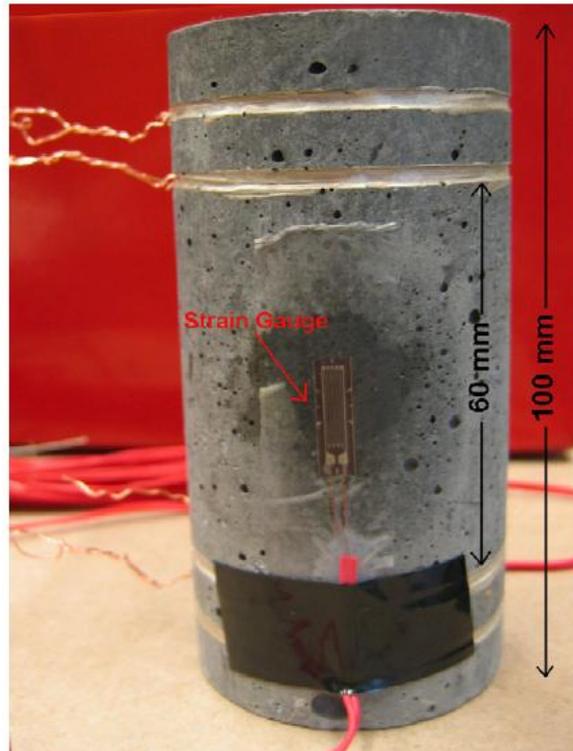
Hasilnya menunjukkan bahwa baik pasta CFRC dan pasta polos menunjukkan perilaku piezoelektrik, yang bisa merespon berbagai macam tingkat muatan dengan kepekaan yang tinggi. Gambar 2.16. menunjukkan perbandingan antara beban tekan dengan perubahan voltase seiring perubahan beban tekan.



Gambar 2. 16. *Compressive force vs. voltage generated by the CFRC* (Sun, 2000)

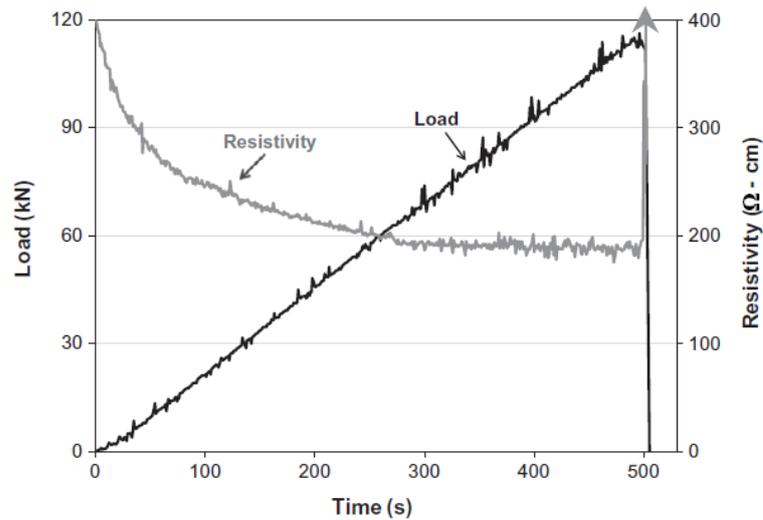
Material ini adalah sensor yang bagus untuk memantau muatan dinamis. Oleh karena itu, sebuah metode baru membuat struktur beton yang cerdas bisa dikembangkan (Sun, 2000).

Semen komposit dengan penguat serat karbon dan nanotube karbon dikembangkan mampu merespon beban tekan yang diterapkan melalui perubahan resistivitas yang dapat diukur dan diamati. Dua jenis sensor berbasis semen, satu dengan serat karbon saja dan yang lainnya dibuat secara hibrida dari serat karbon dan karbon nanotube, dengan bentuk sampel seperti pada Gambar 2.17.



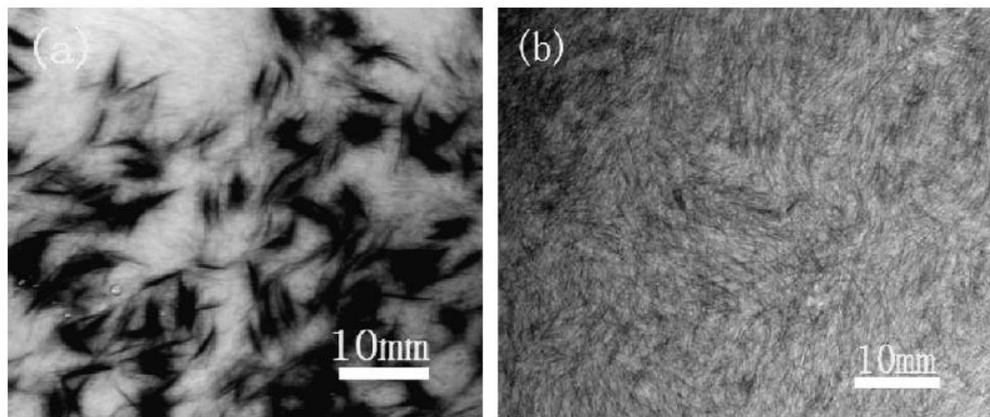
Gambar 2. 17. sensor sampel (Azhari, 2012)

Percobaan sensing menunjukkan bahwa pada muatan siklik, perubahan resistivitas berubah seiring perubahan beban ditunjukkan ada Gambar 2.18 (Azhari, 2012).



Gambar 2. 18. *Response of CF cement-based sensors to monotonic compressive loading (Azhari, 2012)*

Pembuatan komposit berbasis semen yang diperkuat serat karbon melibatkan dispersi serat karbon dua langkah. Kedua langkah sangat terpengaruh sifat mekanik komposit. Dengan bantuan gelombang ultrasonik dan dispersi hidroksietil selulosa digunakan untuk membantu serat dispersi pada langkah pertama. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.19.

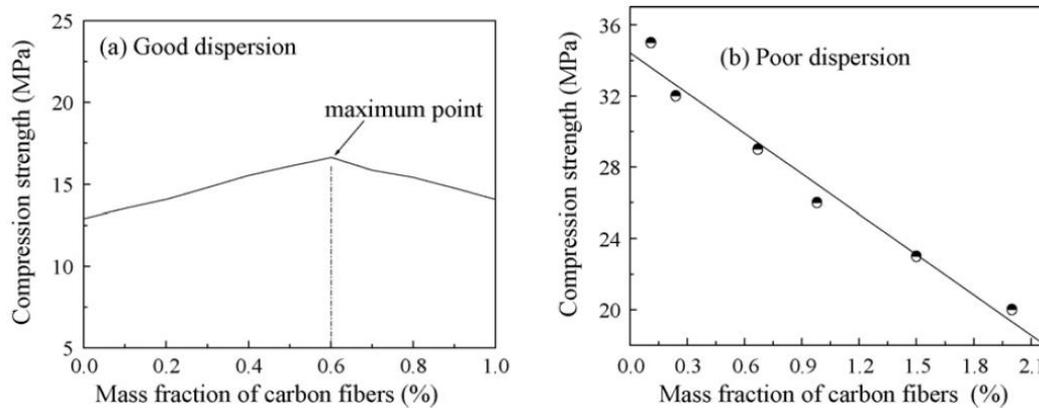


Gambar 2. 19. *Digital photos of carbon fibers in aqueous solution. (a) Poor dispersion without HEC and (b) good dispersion with HEC (Wang, 2007).*

Retakan permukaan komposit diamati dengan pemindaian mikroskop elektron. Distribusi mayor Elemen dianalisis dengan spektroskopi dispersif energi dan komposisi dianalisis melalui difraksi sinar-X. kekuatan tekan juga diukur. Hasil



penelitian menunjukkan kekuatan tekan meningkat sebesar 20%, kekuatan tarik 2,4 kali dari material tanpa karbon serat (Wang, 2007).



Gambar 2. 20. *Compressive strength as a function of fiber mass fractions (a) good dispersion of carbon fibers and (b) poor dispersion of carbon fibers (Wang, 2007).*

Bila serat karbon terdispersi dengan baik dalam matriks semen, Kekuatan tekan meningkat dengan meningkatnya kandungan serat secara bertahap sebelum persentase 0,6% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20 (a). Ini telah meningkat sebesar 20% pada persentase ini. Namun, Kekuatannya tidak selalu terus bertambah seiring seratnya konten meningkat Bila serat karbon digunakan dalam jumlah yang berlebihan (lebih dari 0,6% berat oleh massa semen dalam pekerjaan ini), kemungkinan besar untuk fasikulasi.



Dengan demikian, sejumlah besar gelembung udara akan terjadi pada sampel CFRC. Karena itu, Kekuatan tekan menurun secara bertahap setelah 0,6%. Itu Pecahnya komposit sangat bergantung pada banyaknya celah mikro di dalamnya. Serat karbon bisa menghentikan menghambat celah mikro dan ekspansi bebasnya.

Oleh karena itu, mereka Tidak hanya bisa meningkatkan kekuatan tekan, tapi juga memperbaiki ketangguhan. Sebagai perbandingan, Gambar 2.20 (b) disediakan untuk menunjukkan bahwa kekuatan tekan menurun drastis dengan meningkatnya kandungan serat serat karbon saat ini tidak terdispersi dengan baik. Kekuatan yang memburuk disebabkan oleh lubang dan pori-pori di komposit (Wang, 2008).

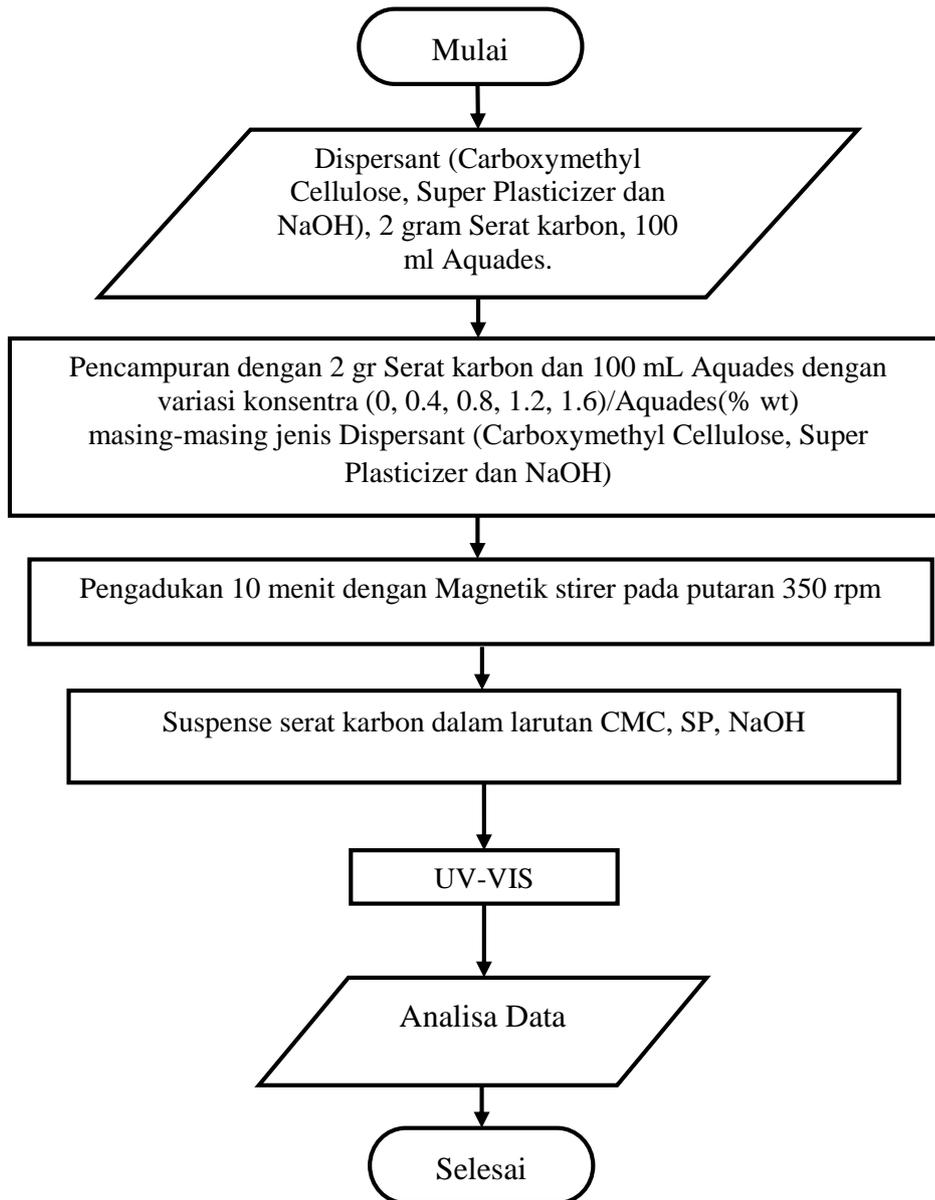
Penambahan sejumlah kecil serat karbon pendek ke semen menyebabkan Kenaikan ketangguhan material komposit, tensile, lentur, dan kekuatan Impact. Salah satu faktor penyebab bertabahnya kekuatan terletak pada adhesi semen serat karbon dan kompositnya (Larson, 1990).



BAB 3
METODE

3.1. Diagram Alir Penelitian

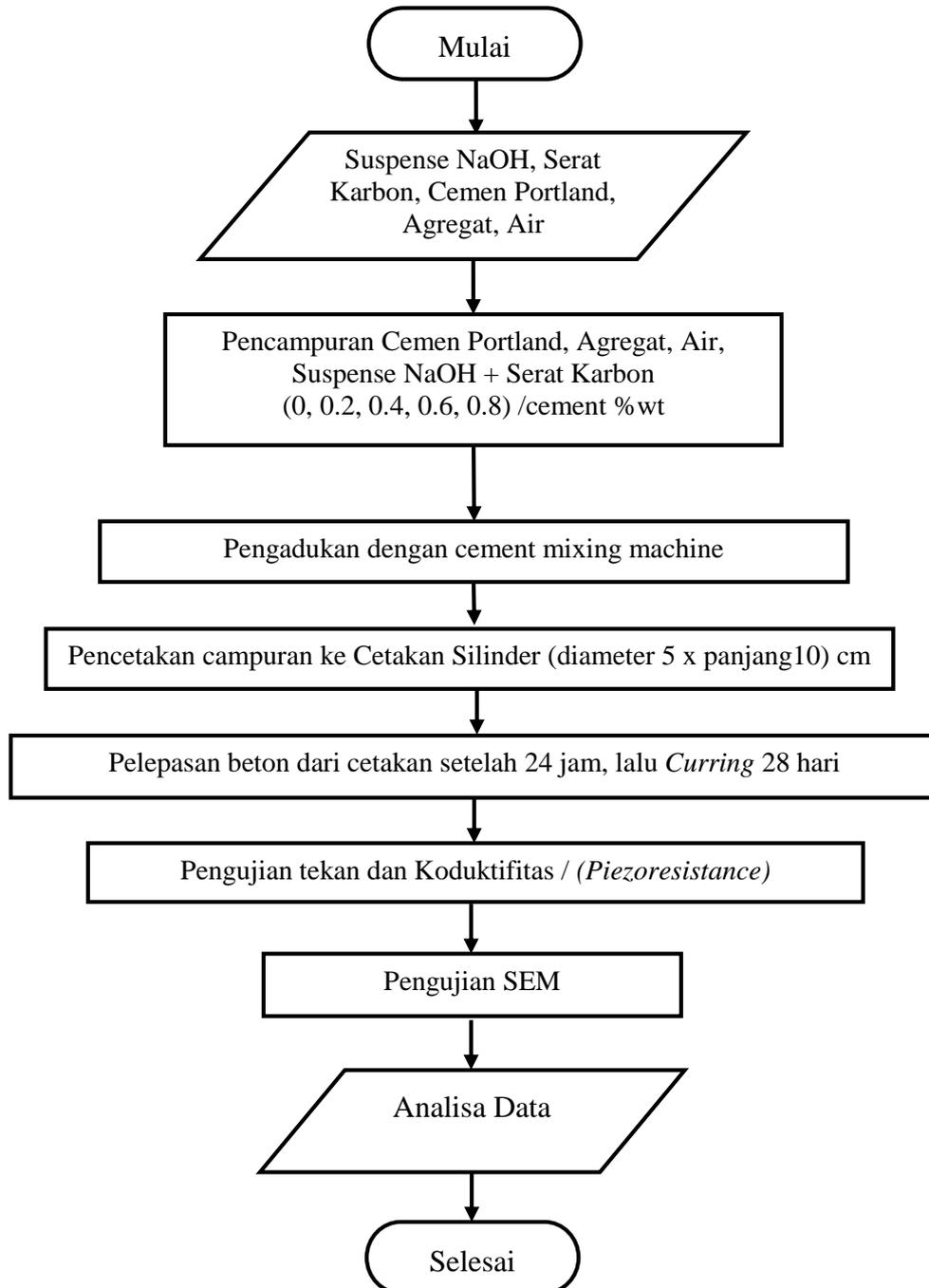
3.1.1. Diagram Alir Pembuatan Suspense Serat Karbon



Gambar 3. 1. Diagram Alir Pembuatan Suspense Serat Karbon



3.1.2. Diagram Alir Pembuatan *Beton-sensor base*



Gambar 3. 2. Diagram Alir Pembuatan Beton-*Sensor base*



3.2. Bahan yang digunakan

Pada percobaan pembuatan *beton sensor base* ini dilakukan serangkaian percobaan dengan menggunakan bahan baku yang tepat. Penelitian ini menggunakan bahan baku semen portland, agregat, serat karbon, dispersan (Caboxymethyl cellulose, Super plasticizer polycarboxylate, NaOH), dan air.

1. Semen portland

Semen merupakan bahan baku utama di dalam dunia konstruksi sebagai bahan perekat yang mengikat bahan lain menjadi satu kesatuan yang disebut “Concrete”. Oleh karena itu dalam penelitian ini semen dijadikan sebagai bahan perbandingan utama terhadap penggunaan serat karbon.

Pada penelitian ini bahan baku semen yang digunakan sama dengan bahan baku semen untuk konstruksi jalan raya beton di Indonesia. Semen yang digunakan adalah SEMEN GRESIK type semen PCC (Portland Composite Cement) sesuai standart Nasional Indonesia (SNI), diperoleh dari toko WARNA JAYA, Surabaya, Indonesia.

2. Agregat

Agregat merupakan bahan pengisi dalam struktur beton sehingga dengan ukuran beton yang sama diperoleh harga yang lebih murah dibandingkan dengan menggunakan semen 100%. Agregat dalam campuran beton pada umumnya berupa pasir halus dan batu kerikil dengan perbandingan tertentu sesuai dengan standart yang ditetapkan.

Agregat untuk menghasilkan kekuatan beton yang tinggi harus dalam keadaan yang bersih dari lumpur atau tanah yang dapat melemahkan kekuatan beton. Pada penelitian ini agregat yang digunakan adalah pasir dari belitung, pasir kali yang bersih dan kerikil/split. diperoleh dari toko WARNA JAYA, Surabaya, Indonesia.



3. Serat Karbon (Kandungan Karbon Tinggi)

Serat karbon merupakan bahan baku utama dalam pembentukan sifat cerdas pada beton karena memiliki sifat jika mendapat tekanan akan berakibat daya hantar listrik berubah.

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah Carbon Fiber Twill220 type PAN (*Polyacrylonitrile*), diperoleh dari EJEKA Carbon-General Chemical, Surabaya, Indonesia.

4. Dispersan

Untuk meningkatkan dispersi, beberapa peneliti melakukan modifikasi permukaan serat karbon dan penambahan dispersan sehingga tegangan permukaan serat karbon berubah. berfungsi sebagai dispersan sehingga serat karbon didalam beton dapat menyebar lebih merata dengan bantuan Carboxymethyl cellulose, Super Plasticizer polycarboxylate, NaOH ditambahkan dalam jumlah kecil agar tidak mempengaruhi kekuatan pada beton. Diperoleh dari UD. SUMBER ILMIAH PERSADA, Surabaya, Indonesia.

5. Aquades / Air

Air merupakan media pelarut dan dalam proses pembentukan beton, terjadi reaksi antara air dan semen sehingga semen akan mengeras.

6. Water reducer

Untuk mengurangi penggunaan air agar kekuatan beton meningkat biasanya digunakan water reducer based polycarboxylate yang bersifat super plastisizer dan dapat berfungsi sebagai dispersan serat karbon dalam matriks beton sensor base.



3.3. Peralatan yang digunakan

1. Magnetik Stirer

Alat yang digunakan untuk pencampuran Serat karbon dengan larutan dispersan. Agar dapat ditentukan nilai putaran.

2. Mixer

Alat pencampur antara semen dengan larutan dispersan yang sudah tercampur dengan serat karbon yang teraktifasi.

3. Cetakan besi

Untuk menghasilkan beton yang sesuai dengan ukuran standar maka perlu dibuat cetakan yang menghasilkan beton dalam berbagai ukuran. Berdasarkan standar pengukuran beton yang ada maka pada penelitian ini beberapa ukuran cetakan mortar (5 x 5 x 5) cm. Dan cetakan beton (10 x 5) cm.

4. Gelas beaker 150 mL

Digunakan pengadukan dan penyampuran serat karbon dan dispersan sehingga menjadi suspensi serat karbon.

5. Neraca massa digital

Digunakan untuk penimbangan berat serat karbon yang digunakan dan bahan-bahan lain yang dibutuhkan.

6. Gunting

Digunakan untuk pemotongan serat karbon dengan ukuran yang sama kurang lebih 1 cm.



3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Pengaruh CMC (*carboxy methyl cellulose*)

Percobaan pengaruh variasi carboxy methyl cellulose terhadap sebaran serat karbon pada mortar putih Gambar 3.1. CMC dilarutkan dengan 100 mL air di dalam 200 mL beaker glass. Massa CMC digunakan adalah 0.4, 0.8, 1.2 dan 1.6 g. Dua gram serat karbon ditambahkan pada larutan CMC, kemudian campuran diaduk selama sekitar 10 menit. Campuran ini, semen dan 80 mL air dicampur selama 2 menit. Perbandingan serat karbon/semen dan air/semen (% berat) dalam campuran akhir adalah masing-masing 0,33 dan 30. Campuran dituang ke dalam cetakan. Setelah 1 hari, sampel itu dilepaskan dari cetakan dan kemudian pada suhu kamar di udara selama 7 hari.

3.4.2. Pengaruh SP (*super plasticizer*)

SP dilarutkan dengan 100 mL air di dalam 200 mL beaker glass. Massa SP digunakan adalah 0.4, 0.8, 1.2 dan 1.6 g. Dua gram serat karbon ditambahkan pada larutan SP, kemudian campuran diaduk selama sekitar 10 menit. Campuran ini, semen dan 80 mL air dicampur selama 2 menit. Perbandingan serat karbon/semen dan air/semen (% berat) dalam campuran akhir adalah masing-masing 0,33 dan 30. Campuran dituang ke dalam cetakan. Setelah 1 hari, sampel dilepaskan dari cetakan dan kemudian pada suhu kamar di udara selama 7 hari.



3.4.3. Pengaruh NaOH

NaOH dilarutkan dengan 100 mL air di dalam 200 mL beaker glass. Massa NaOH digunakan adalah 0.4, 0.8, 1.2 dan 1.6 g. Dua gram serat karbon ditambahkan pada larutan, kemudian campuran diaduk selama sekitar 10 menit.

Campuran ini, semen dan 80 mL air dicampur selama 2 menit. Perbandingan serat karbon/semen dan air/semen (% berat) dalam campuran akhir adalah masing-masing 0,33 dan 30. Campuran dituang ke dalam cetakan. Setelah 1 hari, sampel dilepaskan dari cetakan dan kemudian didiamkan curing pada suhu kamar di udara selama 7 hari.

3.4.4. Pembuatan Beton-Sensor base

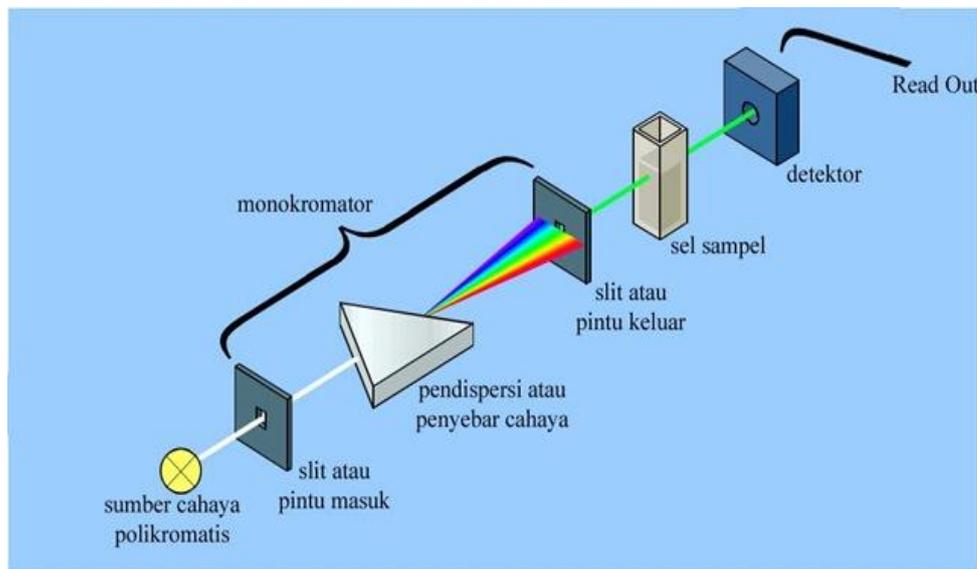
Setelah didapat komposisi dispersi serat karbon dengan persebaran terbaik. Pada gambar 3.2. Menunjukkan diagram alir pembuatan Beton sensor base.. Perbandingan serat karbon/semen, air/semen, (% berat) dalam campuran akhir adalah masing-masing 0,33 dan 30. Namun pembuatan beton berbeda dengan pembuatan mortar. Sehingga perlu ditambahkan Agregat halus dan kasar, sehingga rasio perbandingan berat semen : Pasir : Agregat kasar adalah berat 1:2:3 (SNI 7656:2012). Campuran dituang ke dalam cetakan. Setelah 1 hari, sampel dilepaskan dari cetakan dan kemudian didiamkan curing pada suhu kamar di udara selama 28 hari (ASTM C-192). Kemudian dilakukan uji tekan untuk mengetahui sifat piezoresistivity-nya.

3.5. Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa Pengujian untuk mengetahui tingkat persebaran serat karbon dalam suspensi CMC, SP dan NaOH. Dan untuk mengetahui perubahan resistivity terhadap beban.

3.5.1. UV-Vis

UV-vis adalah salah satu dari jenis pengukuran dari spektrofotometri. Prinsip kerja dari UV-vis yaitu adanya interaksi antara materi dengan cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. Perbedaannya terletak pada panjang gelombang yang digunakan. Secara sederhana Instrumen spektrofotometri yang disebut spektrofotometer terdiri dari : sumber cahaya – monokromator – sel sampel – detektor – read out (pembaca).



Gambar 3. 3. Prinsip kerja spektrofotometer UV-vis

Ketika cahaya dengan panjang berbagai panjang gelombang (cahaya polikromatis) mengenai suatu zat, maka cahaya dengan panjang gelombang tertentu saja yang akan diserap. Di dalam suatu molekul yang memegang peranan penting adalah elektron valensi dari setiap atom yang ada hingga terbentuk suatu materi. Elektron-elektron yang dimiliki oleh suatu molekul dapat berpindah (eksitasi), berputar (rotasi) dan bergetar (vibrasi) jika dikenai suatu energi.

Jika zat menyerap cahaya tampak dan UV maka akan terjadi perpindahan elektron dari keadaan dasar menuju ke keadaan tereksitasi. Perpindahan elektron ini disebut transisi elektronik. Apabila cahaya yang diserap adalah cahaya inframerah maka elektron yang ada dalam atom atau elektron ikatan pada suatu molekul dapat hanya akan bergetar (vibrasi). Sedangkan gerakan berputar elektron terjadi pada energi yang lebih rendah lagi misalnya pada gelombang radio. Atas



dasar inilah spektrofotometri dirancang untuk mengukur konsentrasi suatu suatu yang ada dalam suatu sampel.

Dimana zat yang ada dalam sel sampel disinari dengan cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. Ketika cahaya mengenai sampel sebagian akan diserap, sebagian akan dihamburkan dan sebagian lagi akan diteruskan. Pada spektrofotometri, cahaya datang atau cahaya masuk atau cahaya yang mengenai permukaan zat dan cahaya setelah melewati zat tidak dapat diukur, yang dapat diukur adalah I_t/I_0 atau I_0/I_t (perbandingan cahaya datang dengan cahaya setelah melewati materi (sampel)).

3.5.2. SEM (Scanning Electron Microscopy)

Scanning Electron Microscope adalah jenis mikroskop elektron yang menampilkan gambar morfologi sampel dengan memanfaatkan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola raster scan.

Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari electron gun lalu melewati condensing lenses dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu eletron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah.

Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh backscattered electron detector dan secondary electron detector yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display. Hasil yang dapat terlihat di layar CRT yaitu :

1. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek
2. Komposisi, yaitu data kuatitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek. Jika dikombinasikan dengan sistem EDX/EDS (Energy Dispersive X-Ray/ Energy Dispersive Specstroscopy)
3. Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang di amati.



Gambar 3. 4. Scanning Electron Microscope (SEM) S50

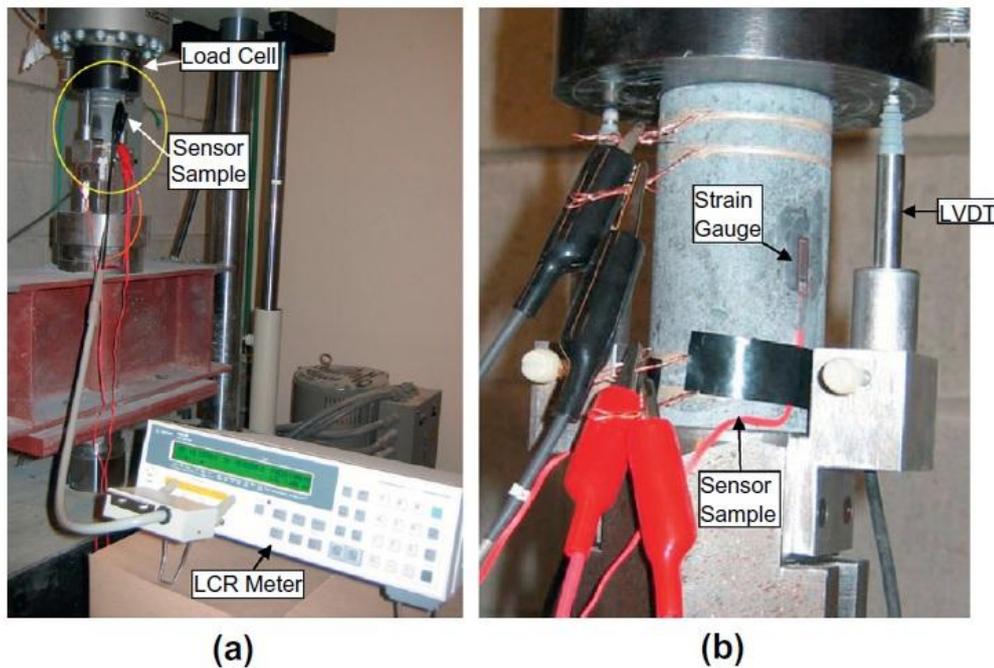
Beragam pembesaran dari sekitar 10 kali hingga 100.000 kali. Backscattered (BSE) adalah dimana elektron yang tercermin dari sampel oleh hamburan elastis. BSE sering digunakan dalam analisis SEM dengan spektrum yang terbuat dari sinar-X. Gambar BSE dapat memberikan informasi tentang distribusi unsur-unsur yang berbeda dalam sampel. Pada pengujian ini sampel diamati morfologinya menggunakan mesin SEM Inspect S50.

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengamati serat didalam matriks bersama dengan beberapa sifat ikatan antara matriks dengan serat penguatnya. Cara untuk mendapatkan struktur mikro dengan membaca berkas elektron, didalam SEM berkas elektron berupa noda kecil yang umumnya $1\mu\text{m}$ pada permukaan spesimen diteliti berulang kali.

Permukaan spesimen diambil gambarnya dan dari gambar ini dianalisa keadaan atau kerusakan spesimen. Pentingnya SEM adalah memberikan gambaran nyata dari bagian kecil spesimen, yang artinya kita bisa menganalisa besar serat, kekasaran serat dan arah serat serta ikatan terhadap komponen matriksnya.

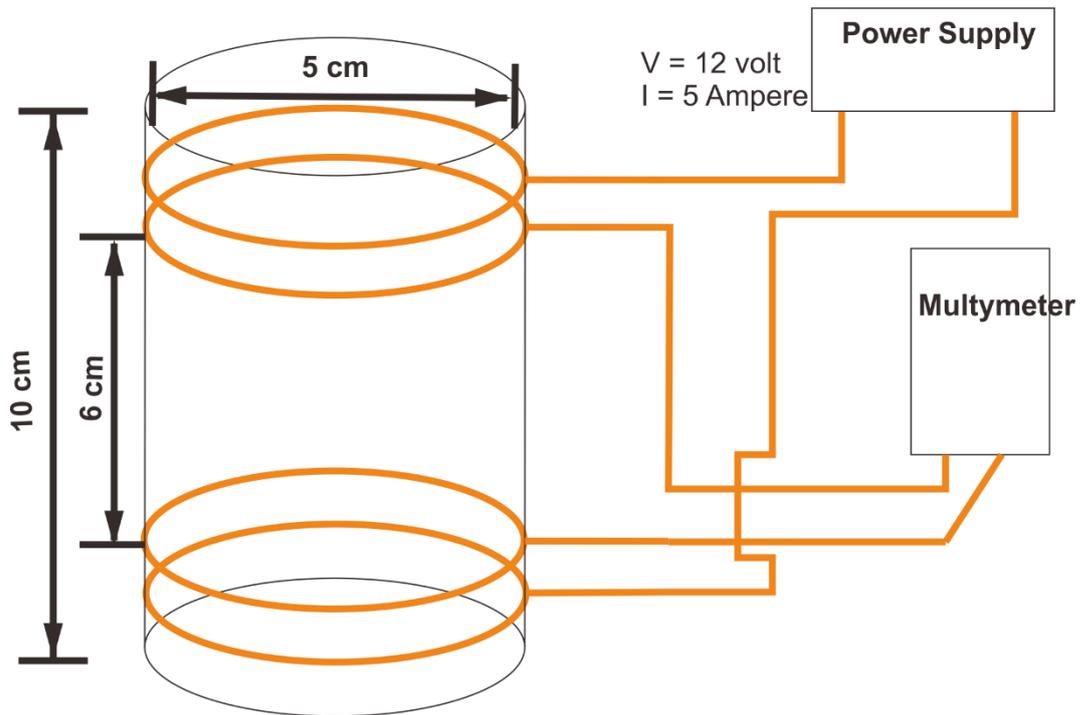
3.5.3. Uji Tekan

Spesimen dilakukan pengujian tekan dengan melekatkan 10 mm foil strain gauges untuk mengetahui hubungan dengan resistancy dan diukur dengan menggunakan Agilent 4263B LCR meter. Karena pengukuran arus searah (DC) Ketahanan listrik secara teknis sulit dan bermasalah karena efek polarisasi, Pengukuran resistensi dilakukan dengan menggunakan alternating current (AC).



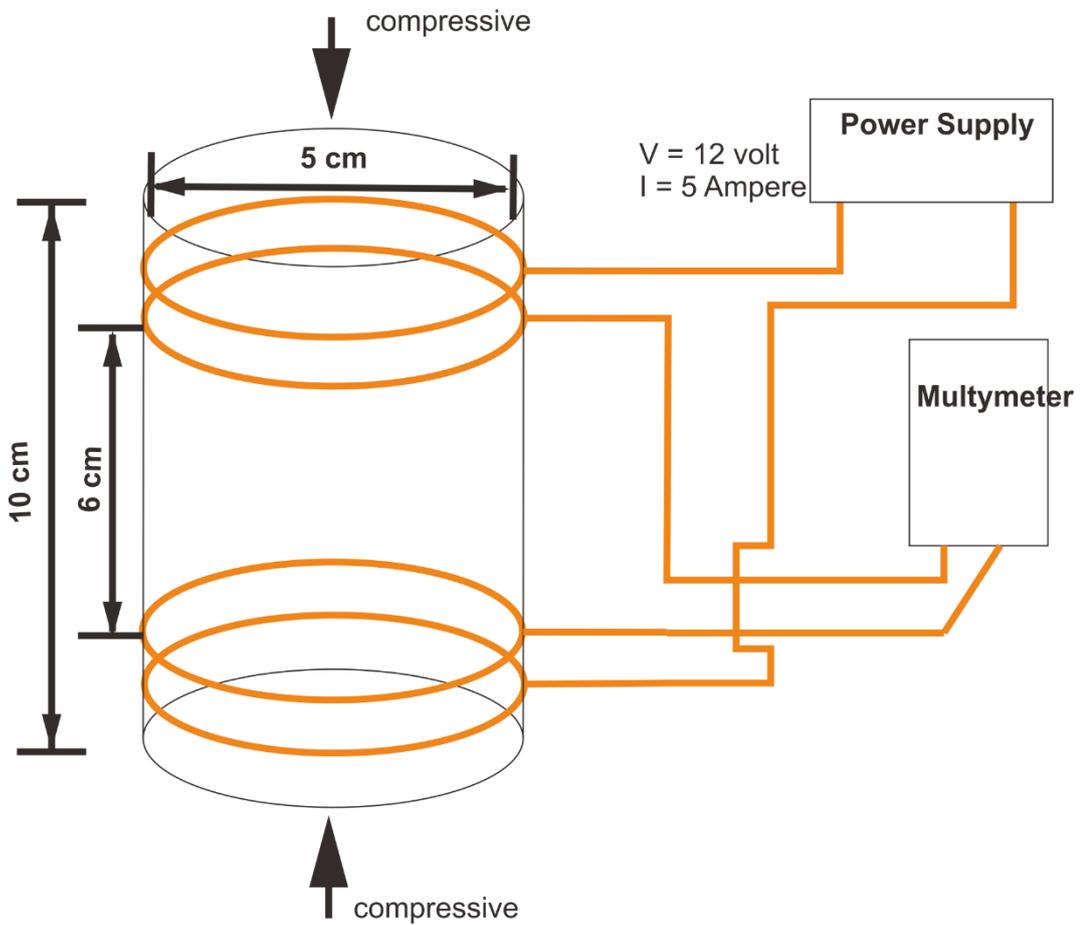
Gambar 3. 5. Instalasi alat uji tekan (a) seluruh bentuk instalasi (b) perbesaran kondisi pada sampel. (Azhari, 2012)

Empat probe digunakan dimana arus mengalir antara dua elektroda luar dan tegangan antara bagian dalam elektroda. Data resistance dipindahkan ke PC yang dilengkapi dengan platform LabVIEW NI. Instalasi-nya ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 6. Skema pengujian Hambatan dan Hambatan Jenis Awal

Skema pengujian hambatan dan hambatan jenis dilakukan sebelum benda uji diberikan beban tekan yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. empat elektroda dipasangkankan, elektroda luar sebagai supply tegangan listrik dan dua elektroda dalam sebagai resistivity detector.



Gambar 3. 7. Skema pengujian Tekan dan Resistivitas

Setelah dilakukan pengujian resistivity tanpa beban tekan, kemudian dilakukan pengujian tekan dengan aliran arus listrik pada benda uji dan juga secara bersamaan pencatatan nilai resistivitas secara *real time*. Skema pengujian tekan dan resistivitas ditunjukkan pada Gambar 3.7. terdapat empat elektroda dipasangkan pada beton, dua di dalam dengan jarak antar elektroda 6 cm untuk mengukur nilai resistivitas dan dua di luar untuk mengaliri arus dan tegangan listrik.



3.5 Rancangan Penelitian

Tabel 3. 1. Rancangan Penelitian Pembuatan Suspense serat karbon.

No	Suspence 2 gr Serat karbon dalam larutan	Dispersan/Aquades (% wt)	UV-Vis	Mortar	Scan Permukaan
1	CMC	0	✓	✓	✓
		0.4	✓	✓	✓
		0.8	✓	✓	✓
		1.2	✓	✓	✓
		1.6	✓	✓	✓
2	SP	0	✓	✓	✓
		0.4	✓	✓	✓
		0.8	✓	✓	✓
		1.2	✓	✓	✓
		1.6	✓	✓	✓
3	NaOH	0	✓	✓	✓
		0.4	✓	✓	✓
		0.8	✓	✓	✓
		1.2	✓	✓	✓
		1.6	✓	✓	✓

Tabel 3. 2. Rancangan Penelitian Pembuatan Beton-*Sensor Base*

No	Beton- <i>Sensor Base</i>	Serat Karbon ter-aktifasi/cement (% wt)	Piezoresistivity	SEM
	B-SB (NaOH)	0	-	-
		0.2	✓	-
		0.4	✓	✓
		0.6	✓	-
		0.8	✓	-



3.6 Kegiatan dan Jadwal Rencana Penelitian Tesis

Tabel 3. 3. Kegiatan Tesis

Kegiatan	Bulan Ke								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Preparasi									
Studi Literatur	■	■							
Pembelian Prekursor	■	■							
Penyusunan Proposal Tesis	■	■	■						
Sintesis									
Dispersi serat karbon (CMC)			■	■					
Dispersi serat karbon (SP)			■	■					
Dispersi serat karbon (NaOH)			■	■					
Pembuatan Beton Base sensor					■	■			
Pengujian									
UV-vis				■					
SEM							■		
Pressure Test dan Piezoresistivity						■	■		
Laporan Tesis									
Sidang Proposal					■				
Penyusunan Laporan					■	■	■	■	
Sidang Kemajuan								■	
Sidang Akhir Tesis									■





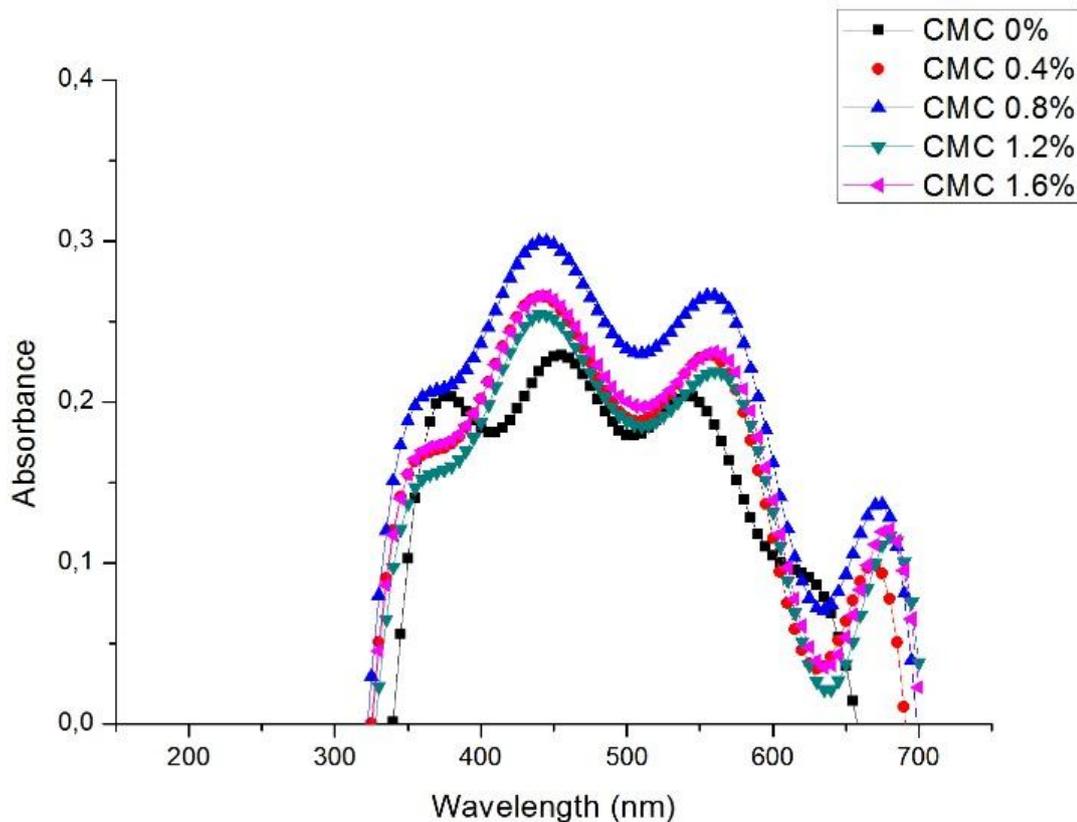
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil karakterisasi UV-VIS

Dispersi serat karbon di dalam air adalah langkah pertama untuk menyiapkan komposit serat karbon dalam pembuatan beton. Tingkat dispersi serat karbon dalam air pada berbagai konsentrasi surfaktan pada larutan dipelajari menggunakan spektroskopi UV-Vis. Karena pita serapan surfaktan dan serat karbon yang tumpang tindih, koreksi dilakukan dengan menggunakan larutan surfaktan sebagai blangko.

4.1.1. Pengaruh CMC (*carboxy methyl cellulose*)

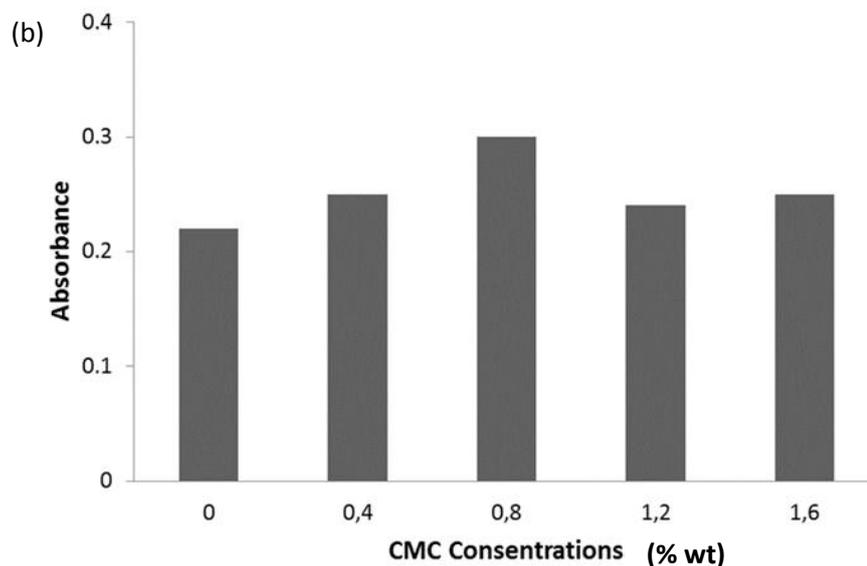
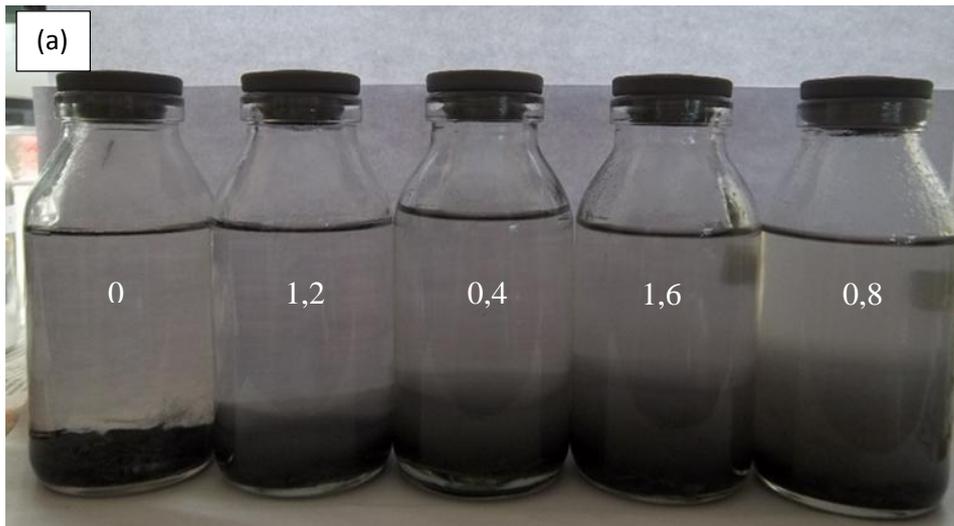


Gambar 4. 1. Hasil karakterisasi UV-VIS dispersi serat karbon dengan konsentrasi CMC



Dispersi serat karbon memiliki puncak karakteristik di wilayah spektral visibel, yaitu 400 - 500 nm ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Selain itu juga terlihat bahwa peningkatan konsentrasi CMC hingga 0,8% disertai dengan kenaikan absorbansi. Peningkatan absorbansi berkaitan dengan peningkatan dispersi serat karbon.



Gambar 4. 2. (a) Sampel Suspens dari persebaran terendah ke tertinggi dan (b) nilai absorbansi serat karbon dengan konsentrasi CMC

Kenaikan konsentrasi CMC dari 0%, 0.4%, 0.8% berurutan dengan nilai absorbansi (0.229, 0.264, 0.290). Namun peningkatan konsentrasi surfaktan lebih



dari 0,8% justru menurunkan absorbansi dari 1.2%, 1.6% dengan nilai absorbansi (0.251, 0.263) nilai ini ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Perilaku ini dapat dijelaskan dengan mengetahui sifat dari dispersan. Di dalam larutan air, sisi hidrofobik dari CMC menyelubungi permukaan serat karbon. Sedangkan sisi hidrofilik CMC berinteraksi dengan air. Interaksi ini menyebabkan peningkatan dispersi dari serat karbon.

Pada konsentrasi surfaktan rendah, peningkatan konsentrasi surfaktan dapat meningkatkan jumlah serat karbon yang menyelubungi surfaktan. Oleh karena itu dispersi serat karbon meningkat. Setelah mencapai konsentrasi kritis, permukaan serat karbon benar-benar telah tertutup oleh CMC. Pada peningkatan konsentrasi surfaktan justru menyebabkan serat karbon mengalami flokulasi bukan disperse sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Tabel 4. 1 Nilai Absorbansi Maksimum pada setiap konsentrasi CMC

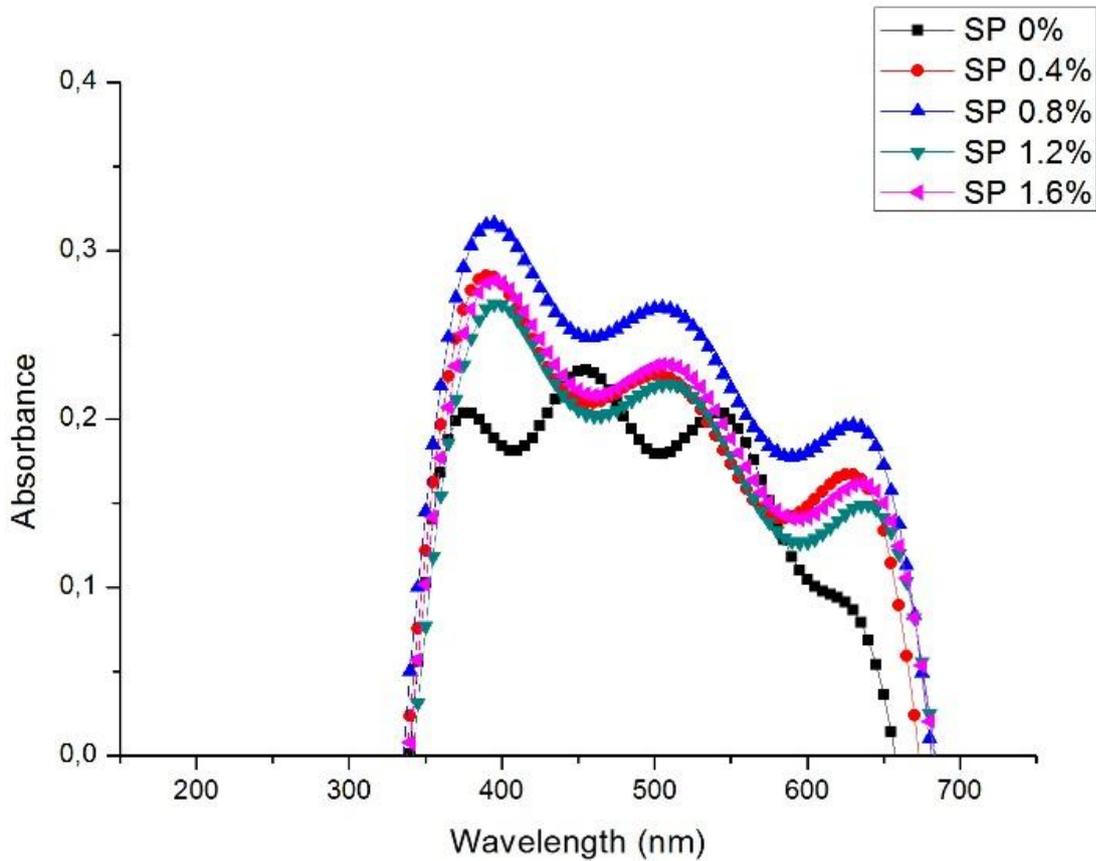
Konsentrasi CMC	0	0,4	0,8	1,2	1,6
Absorbansi Maksimum	0,229	0,264	0,290	0,251	0,263

4.1.2. Pengaruh SP (*Super plasticizer*)

Gambar 4.3. menunjukkan bahwa dispersi serat karbon memiliki puncak karakteristik di wilayah spektral visibel, yaitu 400 - 500 nm. Selain itu juga terlihat bahwa peningkatan konsentrasi SP hingga 0,8% disertai dengan kenaikan absorbansi. Peningkatan absorbansi berkaitan dengan peningkatan dispersi serat karbon. Namun peningkatan konsentrasi surfaktan lebih dari 0,8% justru menurunkan absorbansi. Perilaku ini dapat dijelaskan dengan mengetahui sifat dari dispersan.

Di dalam larutan air, sisi hidrofobik dari SP menyelubungi permukaan serat karbon. Sedangkan sisi hidrofilik SP berinteraksi dengan air. Interaksi ini

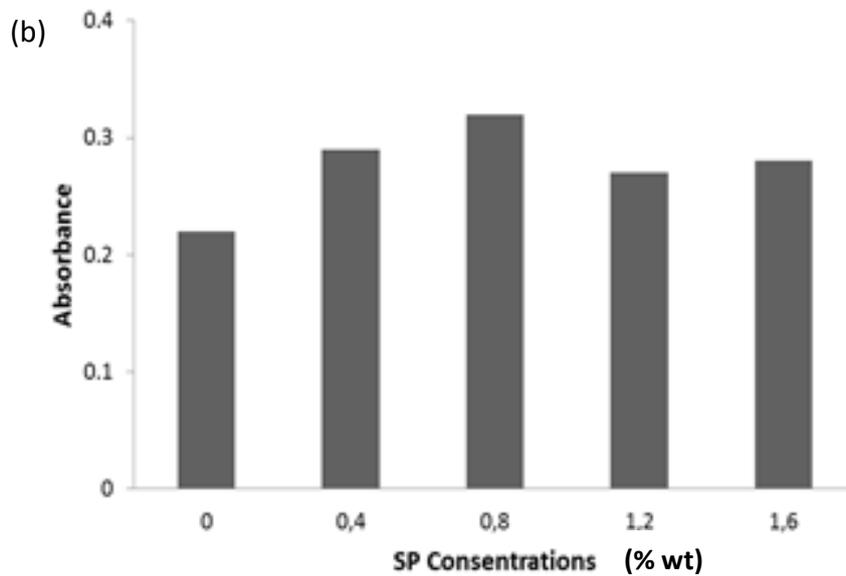
menyebabkan peningkatan dispersi dari serat karbon. Pada konsentrasi surfaktan rendah, peningkatan konsentrasi surfaktan dapat meningkatkan jumlah serat karbon yang menyelubungi surfaktan. Oleh karena itu dispersi serat karbon meningkat.



Gambar 4. 3. Hasil karakterisasi UV-VIS sebaran karbon berbagai konsentrasi SP (Super Plasticizer)

Setelah mencapai konsentrasi kritis, permukaan serat karbon benar-benar telah tertutup oleh SP. Pada peningkatan konsentrasi surfaktan justru menyebabkan serat karbon mengalami flokulasi bukan dispersi. Sampel suspensi persebaran serat karbon dari yang terendah hingga tertinggi yang dapat diamati secara langsung dengan semakin banyaknya partikel karbon yang melayang sehingga memiliki tingkat ketinngian yang berbeda dan nilai absorbansi pada karakterisasi UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 4.3.

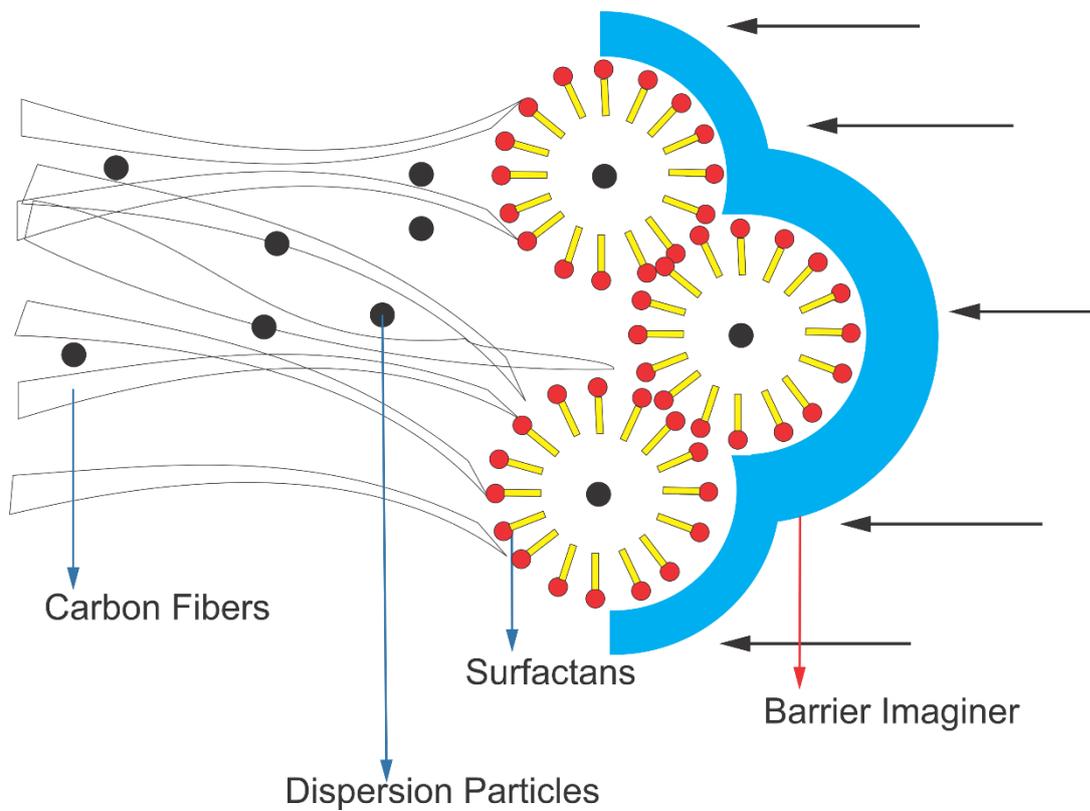
Kenaikan konsentrasi CMC dari 0%, 0.4%, 0.8% berurutan dengan nilai absorbansi (0.229, 0.285, 0.316). Namun peningkatan konsentrasi surfaktan lebih dari 0,8% justru menurunkan absorbansi dari 1.2%, 1.6% dengan nilai absorbansi (0.268, 0.282) nilai ini ditunjukkan pada Tabel 4.8.



Gambar 4. 4. (a) Sampel Suspens dari persebaran terendah ke tertinggi dan (b) nilai absorbansi serat karbon dengan konsentrasi SP (*Super Plasticizer*)

Tabel 4. 2. Nilai Absorbansi Maksimum pada setiap konsentrasi SP

Konsentrasi SP	0	0,4	0,8	1,2	1,6
Absorbansi Maksimum	0,229	0,285	0,316	0,268	0,282



Gambar 4. 5. *Surfactans dispersion modeling*



Gambar 4.5 mengilustrasikan keadaan didalam suspens saat Surfactans ditambahkan di dalam larutan aquades. Pada konsentrasi rendah surfactan cenderung melapisi permukaan dari serat karbon dengan bantuan mekanik dari magnetik stirer maka serat karbon akan mudah terpisah.

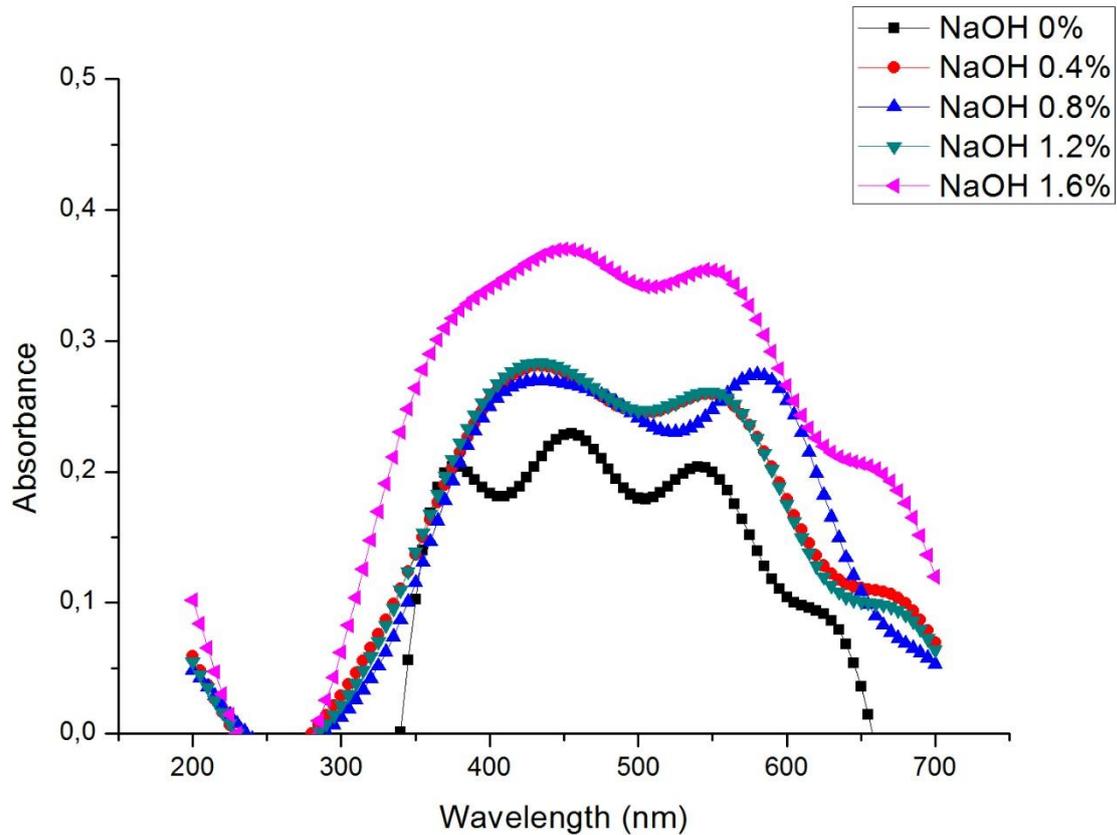
Karbon fiber yang terpisah juga mengakibatkan partikel karbon terpisah saat dipisahkan secara mekanik. Seiring penambahan konsentrasi surfactan maka tidak hanya serat karbon yang dilapisi oleh surfactans, akan tetapi surfactans juga melapisi partikel karbon yang tersebar di dalam suspens.

Pelapisan partikel ini yang kemudian menyebabkan viskositas dari suspens naik secara signifikan sehingga membentuk *barrier* dan pemisahan mekanik dari magnetik stirer tidak mampu lagi memisahkan serat karbon dengan baik.

Hal ini yang mengakibatkan nilai absorbansi pada karakterisasi UV-Vis naik pada konsentrsai 0%, 0.4%, 0.8% dan turun pada konsentrasi 1.2%, 1.6% baik *Carboxy metile cellulose* (CMC) dan *Super Plasticizer* (SP).

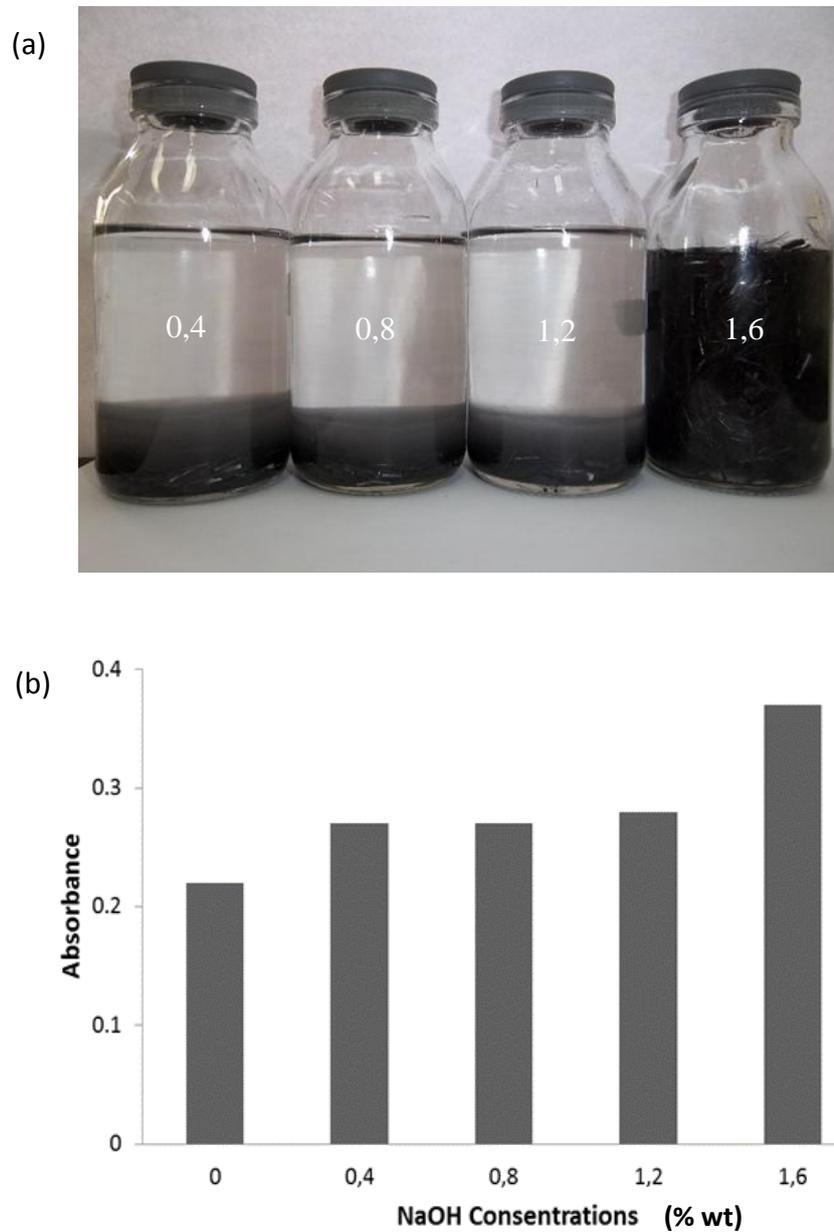
4.1.3. Pengaruh NaOH

Tingkat dispersi serat karbon dalam air pada berbagai konsentrasi NaOH pada larutan dipelajari menggunakan spektroskopi UV-Vis. Karena pita serapan NaOH dan serat karbon yang tumpang tindih, koreksi dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH sebagai blangko.



Gambar 4. 6. Hasil karakterisasi UV-VIS dispersi serat karbon dengan konsentrasi NaOH

NaOH memiliki derajat ionisasi yang tinggi dan kemampuan dalam mendispersi serat karbon. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa dispersi serat karbon memiliki puncak karakteristik di wilayah spektral visibel, yaitu 400 - 500 nm dan juga menunjukkan absorbansi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi larutan NaOH. Peningkatan konsentrasi berkaitan dengan peningkatan jumlah ion Na^+ yang bergerak secara bebas didalam larutan. Peningkatan absorbansi pada konsentrasi tinggi menunjukkan bahwa kemampuan dalam mendispersi dari NaOH dalam bentuk ion lebih baik.

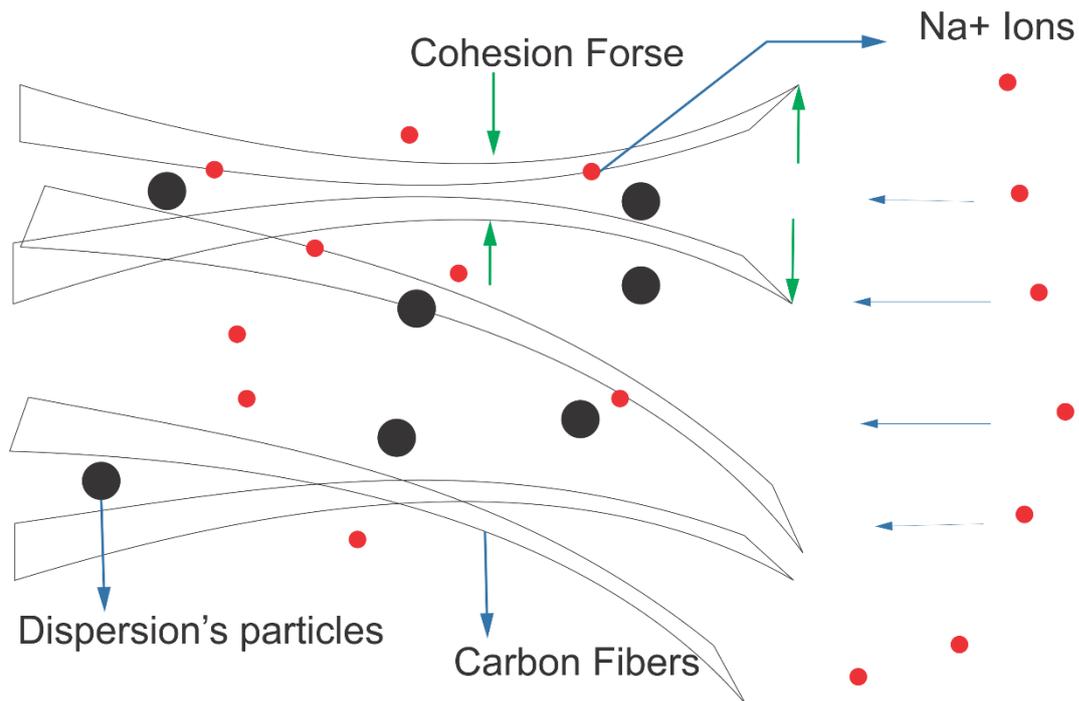


Gambar 4. 7. (a) Sampel Suspens dari persebaran terendah ke tertinggi dan (b) nilai absorbansi serat karbon dengan konsentrasi NaOH

Tabel 4. 3. Nilai Absorbansi Maksimum pada setiap konsentrasi NaOH

Konsentrasi NaOH	0	0,4	0,8	1,2	1,6
Absorbansi Maksimum	0,229	0,280	0,274	0,283	0,370

Kenaikan konsentrasi CMC dari 0%, 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% berurutan dengan nilai absorbansi (0.229, 0.280, 0.274, 0.283 dan 0.370). berbeda dengan dua hasil UV-Vis sebelumnya, kenaikan nilai konsentrasi NaOH diikuti dengan naiknya nilai absorbansi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.



Gambar 4. 8. *NaOH dispersion modeling*

NaOH berperan sebagai pelapis antar serat karbon dan antar partikel karbon, karena ukuran ion Na⁺ yang sangat kecil sehingga mampu masuk di antara serat dan partikel. Saat ion Na⁺ masuk diantara serat dan partikel dengan bantuan putaran magnetik stirer ion Na bergerak bebas dan mengurangi gaya kohesi antar serat. Sehingga meningkatkan gaya adesi antar serat dan larutan. Tidak hanya didalam larutan dispersi terjadi, namun saat diaplikasikan didalam beton distribusi karbon fiber akan tersebar dengan sangat baik. Ilustrasi peran NaOH di dalam larutan ditunjukkan pada Gambar 4.8.

4.2. Pengujian Tekan dan *Piezoresistivitas*

Dari beberapa jenis dispersan yaitu; *carboxymetile cellulose*, *super plasticizer*, dan NaOH, akhirnya ditentukan bahwa NaOH merupakan jenis dispersan dengan persebaran terbaik. Persebaran serat karbon yang baik merupakan penentu ke-sensifitasan dari beton yang telah dibuat. Selain persebaran serat karbon, persen berat dari serat karbon yang dikompositkan dengan beton juga sangat penting untuk dikaji.

Sehingga serat karbon akan berfungsi sebagai penguat dan juga mempunyai fungsi sensor *sensing*. Maka dibuat beton komposit dengan komposisi; 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 persen berat.

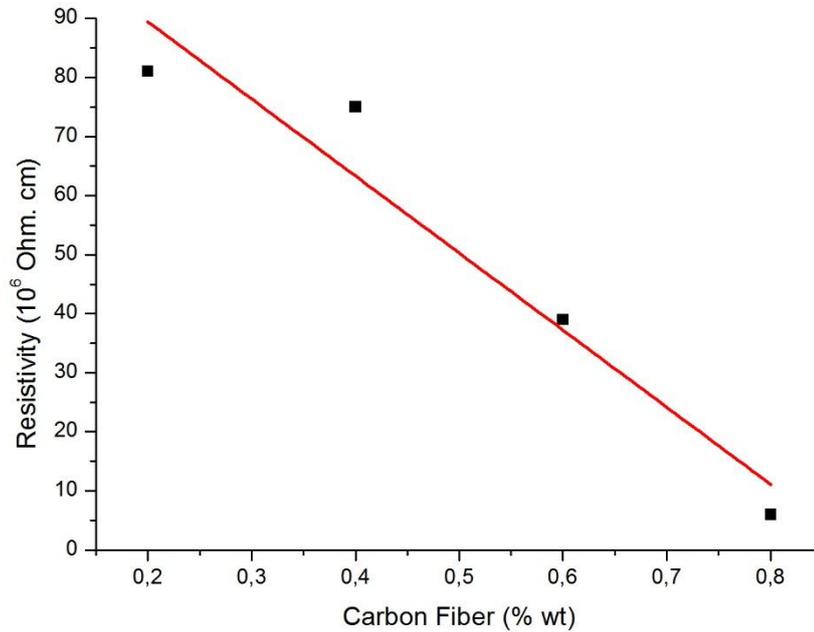
4.2.1. Hambatan dan Hambatan Jenis Awal

Pada benda uji dipasangkan 4 elektroda tembaga sebagai media ukur hambatan dan hambatan jenis awal sebelum dilakukan pengujian tekan dan *piezoresistivity* yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9. Sampel beton berpenguat serat karbon dengan variasi berat serat karbon (0.2, 0.4, 0.6, 0.8)% berat dengan 4 elektroda tembaga.

Skema pengujian hambatan dan hambatan jenis dilakukan sebelum benda uji diberikan beban tekan yang ditunjukkan pada bab 3 Gambar 3.6. nilai hambatan jenis dari masing - masing ditunjukkan dengan tiga kali pengulangan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10. Hasil Pengujian Hambatan Jenis awal

Tabel 4. 4. Nilai Hambatan Jenis Awal

Komposisi serat karbon (% berat)	Resistivity (Ω .cm)		
	Running 1	Running 2	Running 3
0.2	79×10^6	94×10^6	71×10^6
0.4	77×10^6	87×10^6	62×10^6
0.6	36×10^6	47×10^6	36×10^6
0.8	6×10^6	7×10^6	57×10^5

Tabel 4. 4 menunjukkan hasil pengujian resistivitas awal pada empat sampel dengan pengulangan tiga kali untuk masing – masing variasi komposisi serat karbon yaitu; 0.2, 0.4, 0.6, dan 0.8 % berat terhadap beton. Hasil pengujian menunjukkan nilai resistivitas yang cukup besar pada masing – masing variasi komposisi 0.2, 0.4,



0.6 dan 0.8 % berat dengan nilai rata – rata secara berurutan sebagai berikut (81×10^6 , 75×10^6 , 39×10^6 , dan 62×10^5) $\Omega \cdot \text{cm}$.

Nilai resistivitas turun seiring penambahan komposisi serat karbon di dalam beton. Hal ini disebabkan oleh efek tunnel antar ujung serat karbon yang mampu menghantarkan elektron pada jarak yang sangat dekat dengan ukuran nanometer. Nilai resistivitas pada beton dengan komposisi serat karbon tertinggi menghasilkan nilai dengan penurunan yang signifikan.

Peran dari efek tunnel sangat besar pada hasil resistivitas, karena seiring besarnya komposisi serat karbon yang diberikan pada beton dengan volum yang sama akan berakibat pada posisi ujung – ujung serat karbon semakin dekat. Sehingga memberikan kesempatan lebih banyak bagi elektron untuk bergerak dari ujung ke ujung serat dan menurunkan nilai resistivitas.

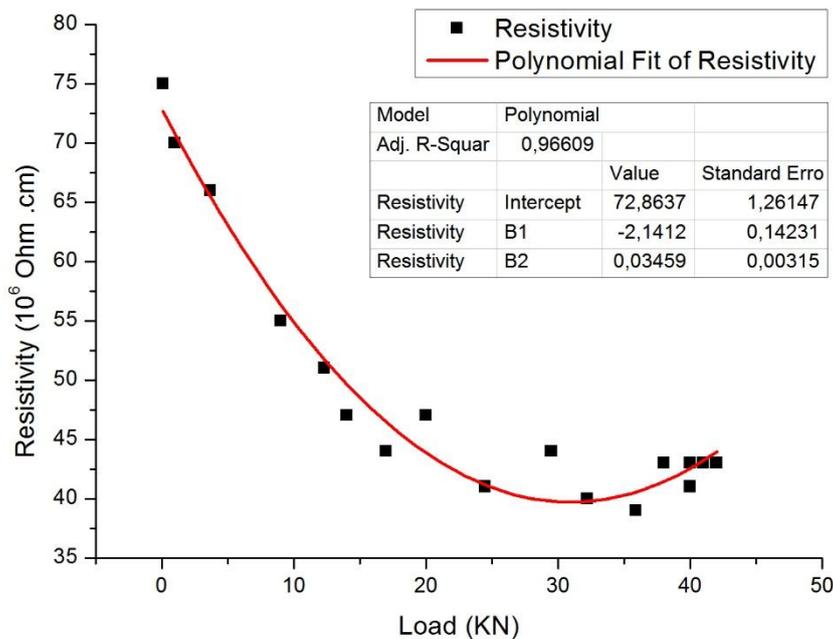
4.2.2. Pengujian Tekan dan Resistivitas

Setelah dilakukan pengujian resistivity tanpa beban tekan, kemudian dilakukan pengujian tekan dengan aliran arus listrik pada benda uji dan juga secara bersamaan pencatatan nilai resistivitas secara *real time*. Skema pengujian tekan dan resistivitas ditunjukkan pada Gambar 3.7. terdapat empat elektroda dipasangkan pada beton, dua di dalam dengan jarak antar elektroda 6 cm untuk mengukur nilai resistivitas dan dua di luar untuk mengaliri arus dan tegangan listrik.

Pengujian tekan dilakukan pada sampel dengan variasi komposisi serat karbon mulai 0.2, 0.4, 0.6, dan 0.8% berat. sengaja untuk variasi komposisi 0% tidak dilakukan pengujian resistivitas karena memang hambatannya sangatlah besar hingga tidak terdeteksi multimeter.

Pada dimensi sampel dengan diameter 5 cm dan tinggi 10 cm (silinder) dan peletakan elektroda pada out put hambatan 6 cm antar dua elektroda. Sehingga, nilai hambatan yang terbaca silinder di antara dua elektroda tersebut. Aliran arus dijaga pada 5 ampere dan voltase pada 12 volt dengan menggunakan arus bolak – balik (AC). Sengaja tidak menggunakan arus searah (DC) karena Karena pengukuran arus searah (DC) secara teknis sulit distabilkan dan bermasalah karena menghasilkan efek polarisasi (Azhari, 2012).

Multimeter diatur pada posisi pengukuran hambatan ($20\text{ M}\Omega$) sesuai pada pengukuran hambatan awal. Karena kecenderungan nilai hambatan menurun saat sample mulai dilakukan pengujian tekan.



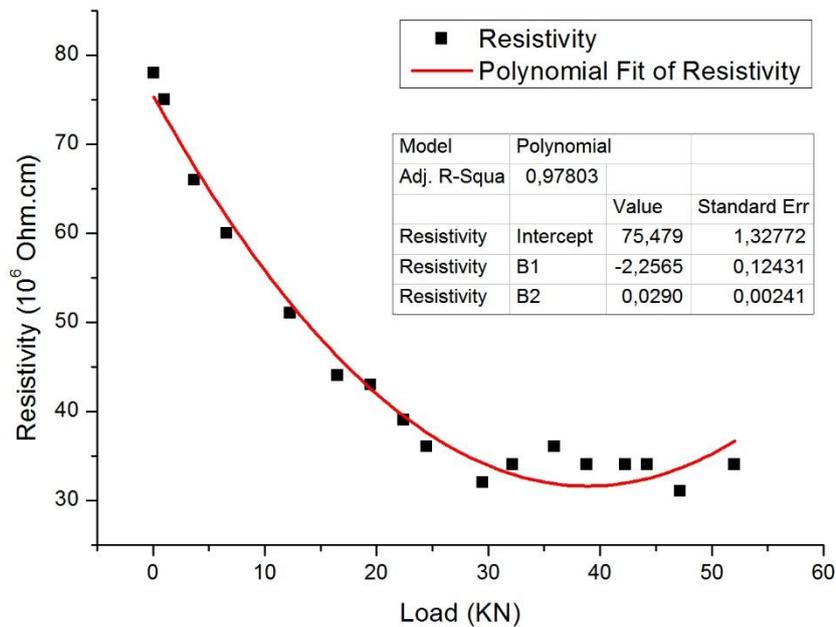
Gambar 4. 11. Hasil Pengujian tekan dan Nilai Resistivitas pada Variasi Komposisi Serat Karbon 0.2% berat.

Gambar 4.11. menunjukkan nilai resistivitas yang menurun mulai $75 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ dan konsisten hingga $44 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ pada penekanan yang lebih lama resistivitas mengalami kenaikan pada nilai $47 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ di beban tekan 20 KN dan seterusnya pengujian mengalami inkonsistensi, karena resistivitas mengalami kenaikan dan penurunan nilai dengan rentang yang berbeda hingga beban tekan maksimal 42 KN. Hal ini menunjukkan kondisi tidak konsisten, karena diharapkan nilai resistivitas akan terus mengalami penurunan hingga beban tekan maksimum. Namun, kondisi tersebut memberikan informasi bahwa material beton memang mempunyai sifat yang keras dan getas atau brittle.

Sehingga, pada kondisi pemberian beban 20 KN. beton mengalami *micro-cracking* dan berakibat terjadinya diskontinuitas pada struktur beton dan karbon



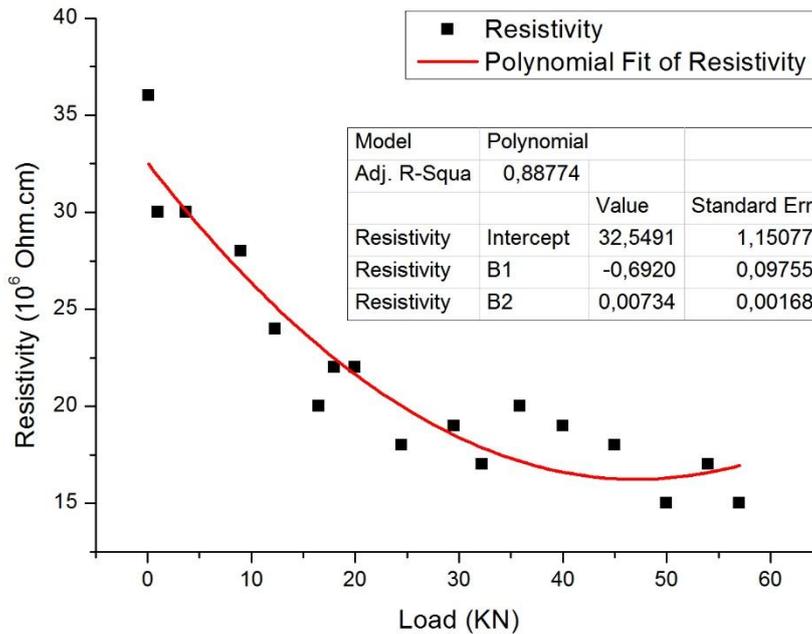
fiber. Jika kedua material ini mengalami gangguan atau gagal struktur, sudah dapat dipastikan bahwa akan berpengaruh pada kekuatan dan nilai resistivitasnya.



Gambar 4. 12. Hasil Pengujian tekan dan Nilai Resistivitas pada Variasi Komposisi Serat Karbon 0.4% berat.

Gambar 4.12. menunjukkan nilai resistivitas yang menurun mulai $78 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ dan konsisten hingga $32 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ dan memiliki rentang konsistensi jauh lebih baik dari sebelumnya. Pada penekanan yang lebih lama resistivitas mengalami kenaikan pada nilai $34 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ di beban tekan 32 KN dan seterusnya pengujian mengalami inkonsistensi, karena resistivitas mengalami kenaikan dan penurunan nilai dengan rentang yang berbeda hingga beban tekan maksimal 52 KN juga lebih tinggi nilainya dari pengujian sebelumnya. Hal ini menunjukkan kondisi tidak konsisten, karena diharapkan nilai resistivitas akan terus mengalami penurunan hingga beban tekan maksimum. Namun, kondisi tersebut memberikan informasi bahwa material beton memang mempunyai sifat yang keras dan getas atau brittle.

Sehingga, pada kondisi pemberian beban 32 KN. beton mengalami *micro-cracking* dan berakibat terjadinya diskontinuitas pada struktur beton dan karbon fiber. Jika kedua material ini mengalami gangguan atau gagal struktur, sudah dapat dipastikan bahwa akan berpengaruh pada kekuatan dan nilai resistivitasnya.

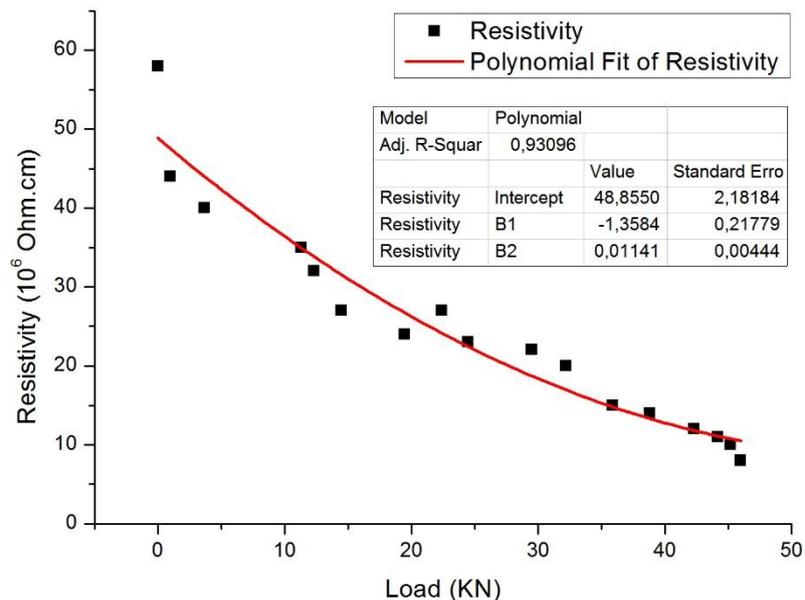


Gambar 4. 13. Hasil Pengujian tekan dan Nilai Resistivitas pada Variasi Komposisi Serat Karbon 0.6% berat.

Gambar 4.13. menunjukkan nilai resistivitas yang menurun mulai $36 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ dan konsisten hingga $20 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ dan memiliki rentang konsistensi tidak jauh lebih baik dari variasi komposisi 0.4% berat. Pada penekanan yang lebih lama resistivitas mengalami kenaikan pada nilai $22 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ di beban tekan 18 KN dan seterusnya pengujian mengalami inkonsistensi, karena resistivitas mengalami kenaikan dan penurunan nilai dengan rentang yang berbeda hingga beban tekan maksimal 57 KN juga lebih tinggi nilainya dari pengujian sebelumnya. Hal ini menunjukkan kondisi tidak konsisten, karena diharapkan nilai resistivitas akan terus mengalami penurunan hingga beban tekan maksimum. Namun, kondisi tersebut memberikan informasi bahwa material beton memang mempunyai sifat yang keras dan getas atau brittle.



Sehingga, pada kondisi pemberian beban 18 KN. beton mengalami *micro-cracking* dan berakibat terjadinya diskontinuitas pada struktur beton dan karbon fiber. Jika kedua material ini mengalami gangguan atau gagal struktur, sudah dapat dipastikan bahwa akan berpengaruh pada kekuatan dan nilai resistivitasnya.



Gambar 4. 14. Hasil Pengujian tekan dan Nilai Resistivitas pada Variasi Komposisi Serat Karbon 0.8% berat.

Gambar 4.14. menunjukkan nilai resistivitas yang menurun mulai $24 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ dan konsisten hingga $27 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ dan memiliki rentang konsistensi tidak jauh lebih baik dari variasi komposisi 0.6% berat. Pada penekanan yang lebih lama resistivitas mengalami kenaikan pada nilai $27 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ di beban tekan 22 KN namun berbeda dengan sebelumnya nilai resistivitas terus mengalami penurunan hingga beban tekan maksimal 46 KN (nilainya turun jika dibandingkan dengan pengujian sebelumnya). Hal ini menunjukkan kondisi tidak konsisten, karena diharapkan nilai resistivitas akan terus mengalami penurunan hingga beban tekan maksimum.

Namun ada sedikit kenaikan dan kemudian turun. Kondisi tersebut memberikan informasi bahwa material beton memang mempunyai sifat yang keras dan getas atau brittle, akan tetapi pada kondisi sample ini terjadi *cracking* di



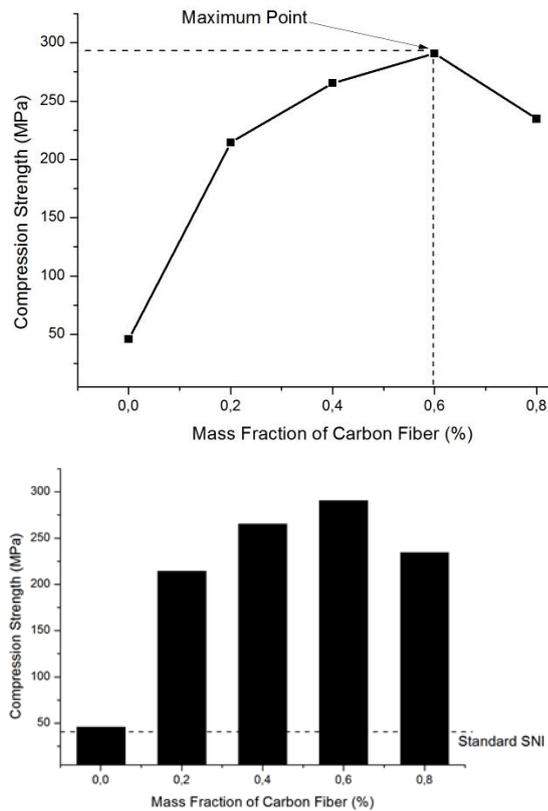
sebagian besar dari beton. Penyebab dari terus menurunnya resistivitas memang komposisi serat karbon yang sangat banyak dan saling berdekatan dan menempel saat dilakukan penekanan terus – menerus hingga beban tekan maksimum 46 KN. Nilainya menurun jika dibandingkan variasi komposisi sebelumnya.

Tabel 4. 5. Rentang Nilai Resistivitas sebelum *micro cracking*

Komposisi karbon fiber (% berat)		0,2	0,4	0,6	0,8
Rentang Resistivitas	ρ_0 (Ω .cm)	75×10^6	78×10^6	36×10^6	24×10^6
	P_{max} (Ω .cm)	44×10^6	32×10^6	20×10^6	27×10^6
Beban maksimal (<i>starting micro cracking</i>) (KN)		20	32	18	22
Beban tekan maksimal (KN)		42	52	57	46

Rentang nilai resistivitas awal hingga akhir saat mulai terjadi *micro cracking* ditunjukkan pada Tabel 4. 5. Pada komposisi karbon fiber 0,2% rentang nilai resistivitas antara $75 \times 10^6 - 44 \times 10^6$ pada beban tekan 20 KN. Pada komposisi karbon fiber 0,4% rentang nilai resistivitas antara $78 \times 10^6 - 32 \times 10^6$ pada beban tekan 32 KN. Pada komposisi karbon fiber 0,6% rentang nilai resistivitas antara $36 \times 10^6 - 20 \times 10^6$ pada beban tekan 18 KN. Pada komposisi karbon fiber 0,8% rentang nilai resistivitas antara $24 \times 10^6 - 27 \times 10^6$ pada beban tekan 22 KN.

Dari hasil pada tabel 4. 5. Diketahui bahwa rentang nilai resistivitas terpanjang dan nilai beban maksimal sebelum terjadinya *micro cracking* ada pada komposisi karbon fiber 0,4%. Karena material ini digunakan pada kondisi sempurna sebelum terjadinya crack didalam material.



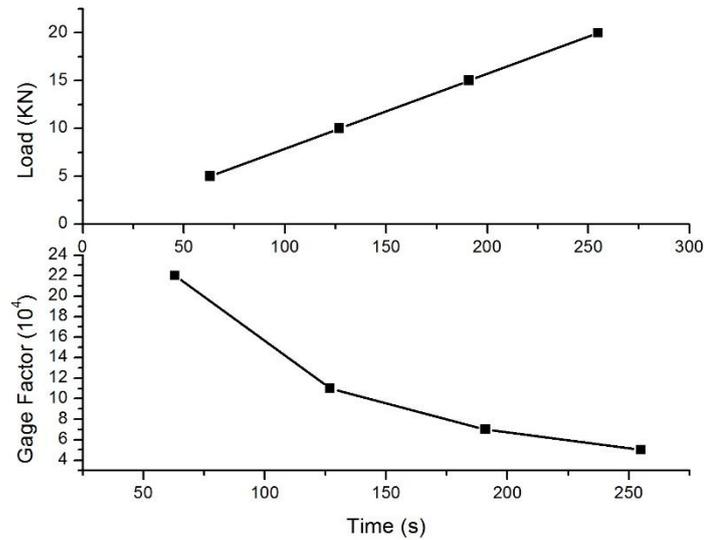
Gambar 4. 15. Grafik pengaruh fraksi massa karbon fiber terhadap kekuatan tekan beton.

Bila serat karbon terdispersi dengan baik dalam matriks semen, Kekuatan tekan meningkat dengan meningkatnya kandungan serat secara bertahap sebelum persentase 0,6% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. Namun, Kekuatannya tidak selalu terus bertambah seiring fraksi massa serat karbon meningkat Bila serat karbon digunakan dalam jumlah yang berlebihan (lebih dari 0,6% berat oleh massa beton dalam penelitian ini), kemungkinan besar akan terjadi flokulasi dan terbentuknya aglomerasi serat. Sehingga, menyebabkan adesi antar serat karbon dan matriks beton kurang baik.

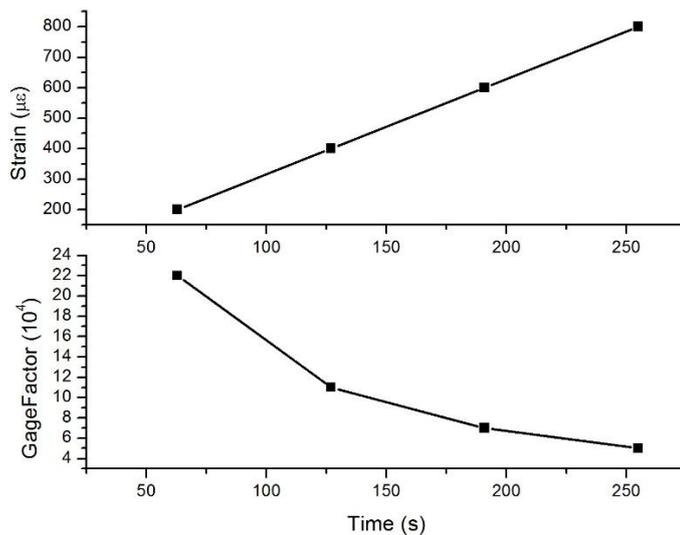


4.2.3. Hasil *Piezoresistivity* atau *Gage Factor*

Nilai piezoresistivity ditentukan dari data hasil pengujian tekan dan resistivitas. Pada pengujian diperoleh nilai strain ϵ dari benda uji dalam satuan ($\mu\epsilon$). Nilai strain yang digunakan dibatasi hanya pada resistivitas awal hingga resistivitas maksimal saat sampel mengalami *micro cracking*. Dalam menentukan nilai piezoresistivity digunakan Persamaan 2.12.



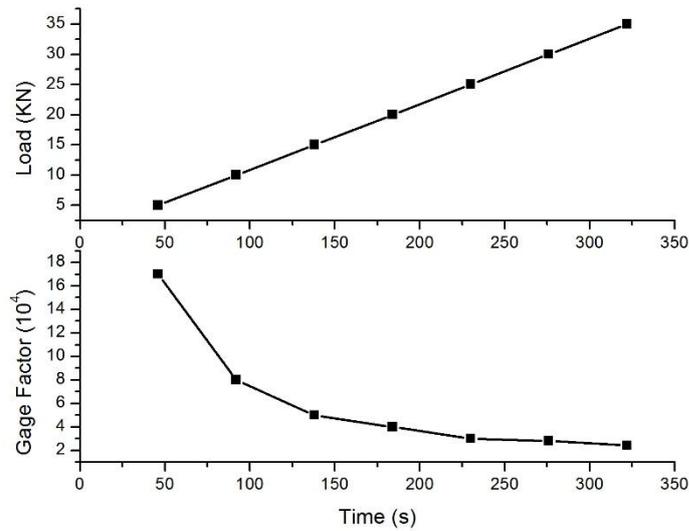
(a)



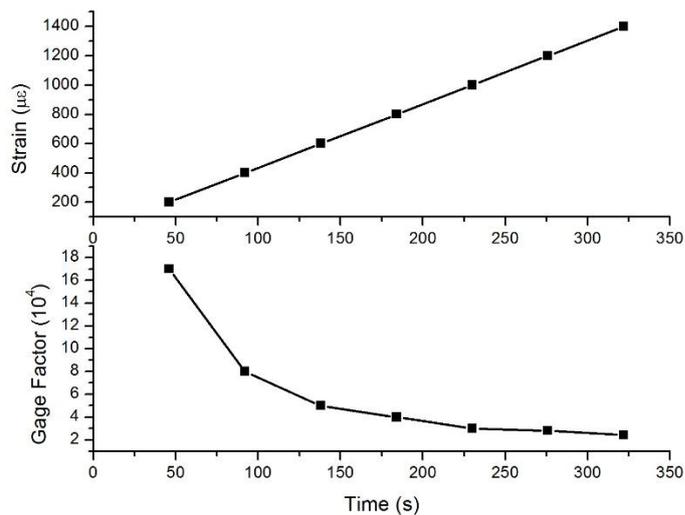
(b)

Gambar 4. 16. Grafik *Gage Factor* atau *Piezoresistivity* pada beton komposisi serat karbon 0,2 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan (b) perbandingan GF pada *Strain* ($\mu\epsilon$)

Gambar 4.16. menunjukkan grafik *Gage Factor* atau *Piezoresistivity* pada beton dengan komposisi serat karbon 0,2 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan menunjukkan grafik seiring meningkatnya nilai beban tekan maka nilai piezoresistivity menurun (b) juga menunjukkan sifat yang sama. Dimana, perbandingan GF pada *Strain* ($\mu\epsilon$) menunjukkan grafik seiring meningkatnya nilai strain maka nilai piezoresistivity juga menurun.



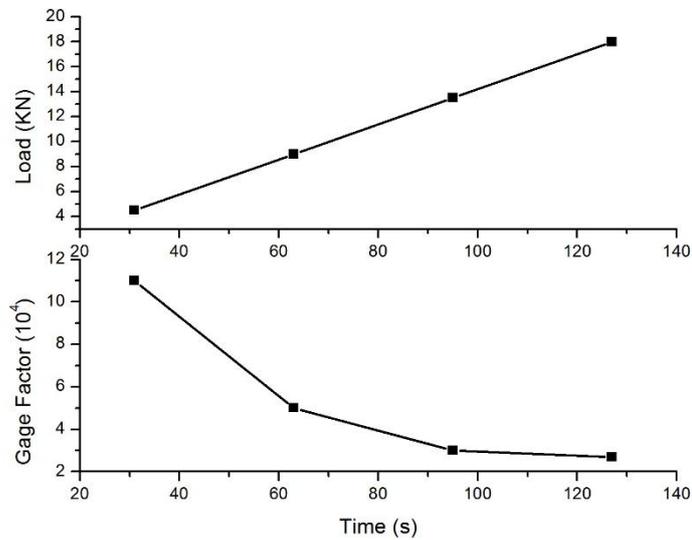
(a)



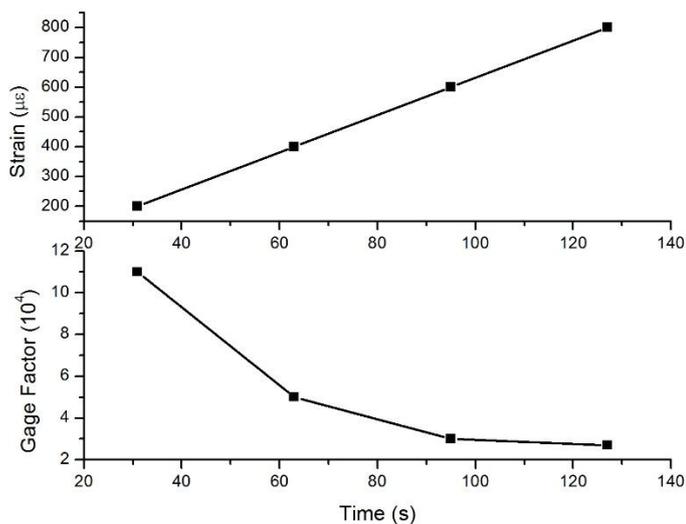
(b)

Gambar 4. 17. Grafik *Gage Factor* atau *Piezoresistivity* pada beton komposisi serat karbon 0,4 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan (b) perbandingan GF pada *Strain* ($\mu\epsilon$)

Gambar 4.17. menunjukkan grafik *Gage Factor* atau *Piezoresistivity* pada beton dengan komposisi serat karbon 0,4 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan menunjukkan grafik seiring meningkatnya nilai beban tekan maka nilai *piezoresistivity* menurun (b) juga menunjukkan sifat yang sama. Dimana, perbandingan GF pada *Strain* ($\mu\epsilon$) menunjukkan grafik seiring meningkatnya nilai strain maka nilai *piezoresistivity* juga menurun.



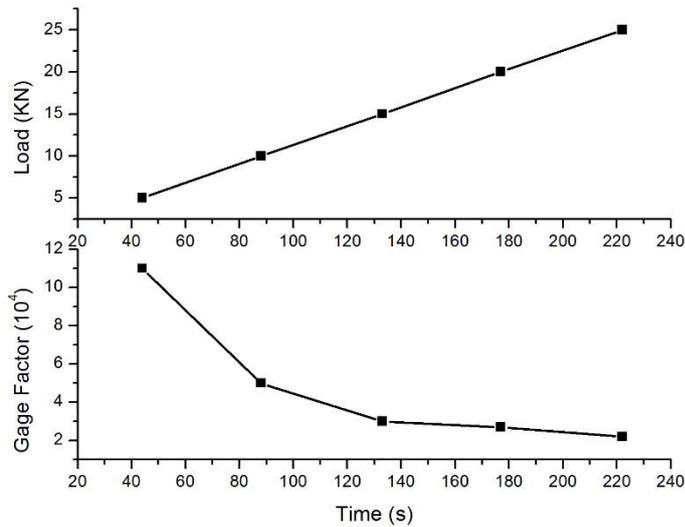
(a)



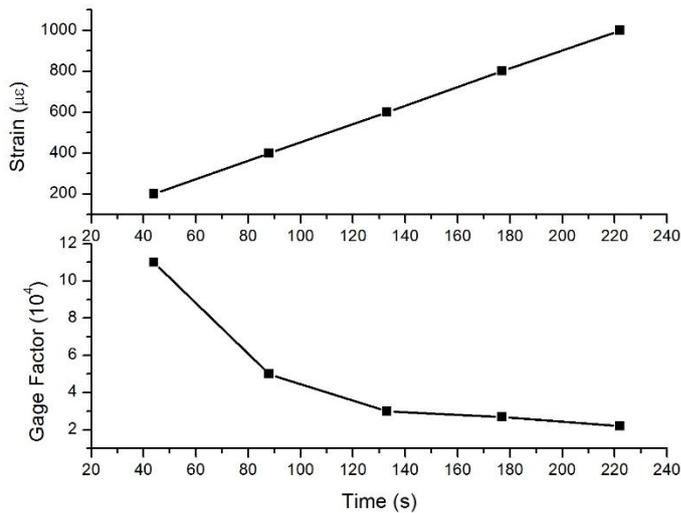
(b)

Gambar 4. 18. Grafik *Gage Factor* atau *Piezoresistivity* pada beton komposisi serat karbon 0,6 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan (b) perbandingan GF pada *Strain* ($\mu\epsilon$)

Gambar 4.18. menunjukkan grafik *Gage Factor* atau *Piezoresistivity* pada beton dengan komposisi serat karbon 0,6 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan menunjukkan grafik seiring meningkatnya nilai beban tekan maka nilai *piezoresistivity* menurun (b) juga menunjukkan sifat yang sama. Dimana, perbandingan GF pada *Strain* ($\mu\epsilon$) menunjukkan grafik seiring meningkatnya nilai *strain* maka nilai *piezoresistivity* juga menurun.



(a)



(b)

Gambar 4. 19. Grafik *Gage Factor* atau *Piezoresistivity* pada beton komposisi serat karbon 0,8 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan (b) perbandingan GF pada *Strain* ($\mu\epsilon$)

Gambar 4.19. menunjukkan grafik *Gage Factor* atau *Piezoresistivity* pada beton dengan komposisi serat karbon 0,8 % berat (a) perbandingan GF pada beban tekan menunjukkan grafik seiring meningkatnya nilai beban tekan maka nilai *piezoresistivity* menurun (b) juga menunjukkan sifat yang sama. Dimana, perbandingan GF pada *Strain* ($\mu\epsilon$) menunjukkan grafik seiring meningkatnya nilai strain maka nilai *piezoresistivity* juga menurun.

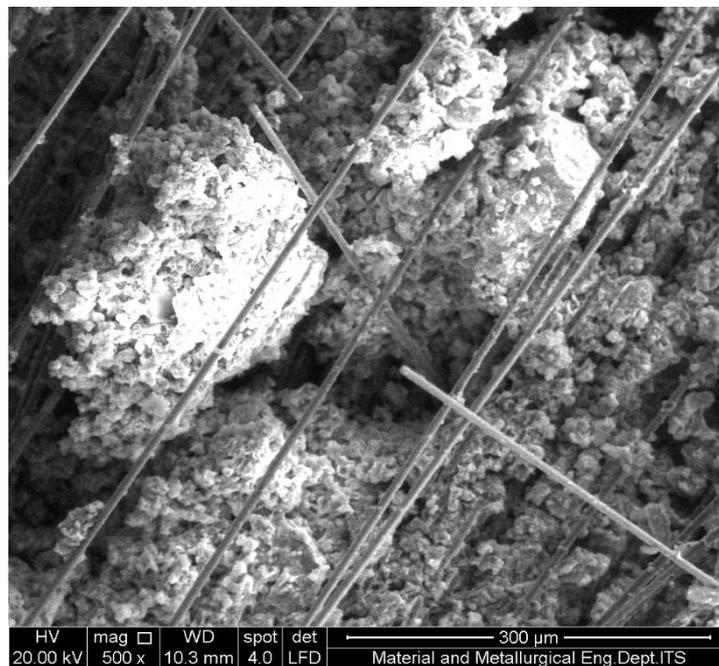


Suatu material dapat dikatakan sebagai *self-monitoring* apabila memiliki kaidah – kaidah yang tertera pada ASTM-E74 *elastic force-measuring instrument* sebagai berikut; *elastic force-measuring device, calibration equation, continuous-reading device, loading range, reading, resolution, specific force device.*

Jelas beberapa kaidah tersebut terdapat pada hasil pengujian dan perhitungan nilai piezoresistivity yang di jelaskan pada grafik diatas. Kecuali, kaidah *calibration equation* tidak dapat dilakukan pada penelitian ini. Karena khusus kaidah ini hanya bisa dilakukan berdasarkan pengujian dengan hasil nilai dinamis. Sedangkan dalam penelitian ini pengujian tekan dilakukan dengan jenis pengujian kuasi statik.

4.3. Hasil Pengujian SEM

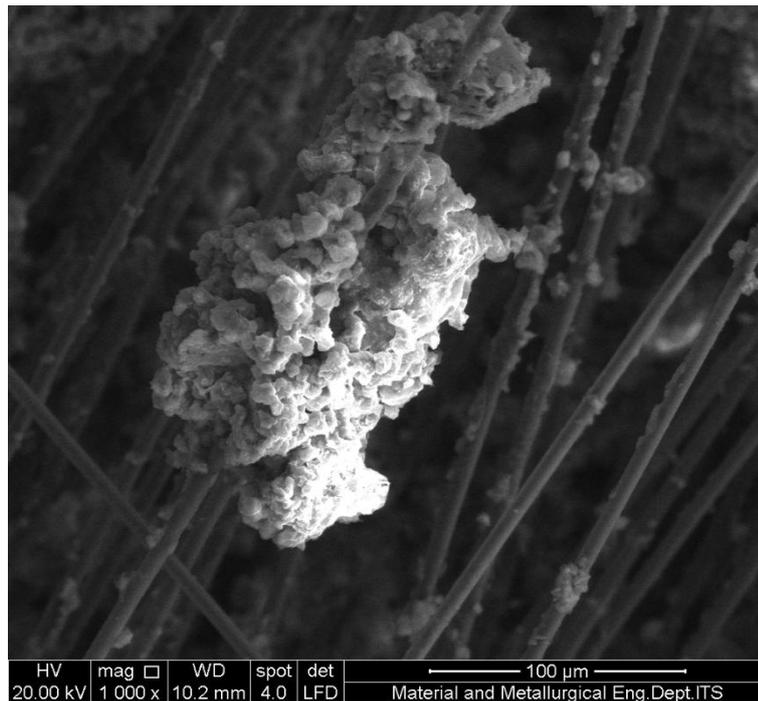
Permukaan fraktur dan adhesi komposit diamati dengan pemindaian mikroskop elektron (SEM). Hasil pemindaian SEM menunjukkan bahwa adesi komposit sangat kuat. Gambar diambil tepat pada lokasi patahan tampak bahwa serat karbon membawa bagian beton yang masih tercengkeram kuat pada serat karbon.



Gambar 4. 20. Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan dengan perbesaran 150 kali



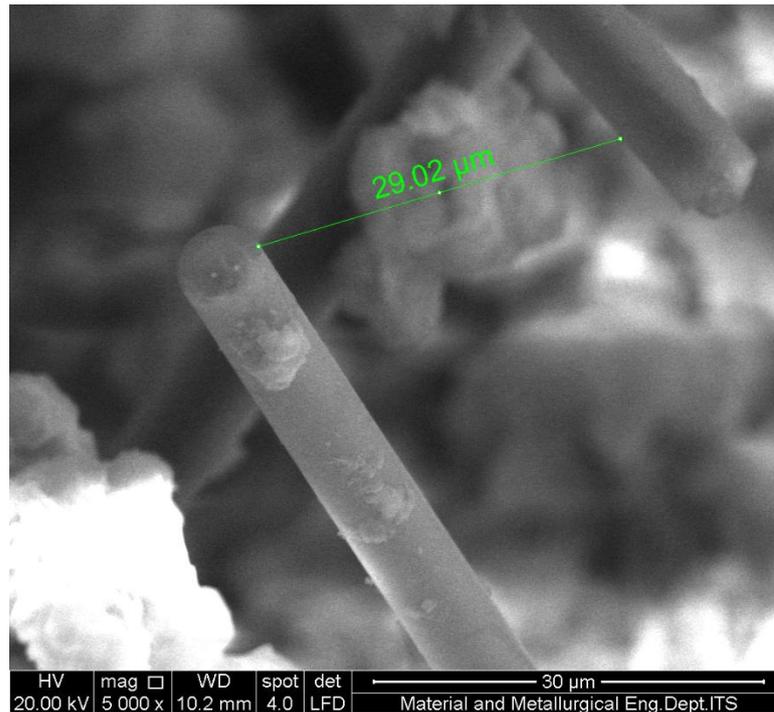
Hasil pengujian SEM pada bagian patahan dengan perbesaran 150 kali ditunjukkan pada Gambar 4.20. penginderaan gambar tepat pada bagian patahan bertujuan untuk mengetahui adesi antar serat karbon dengan beton dan lebih dalam lagi mengamati jarak antar ujung dari serat karbon yang memberikan efek *tunneling*.



Gambar 4. 21. Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan fokus pada satu serat dengan perbesaran 1000 kali

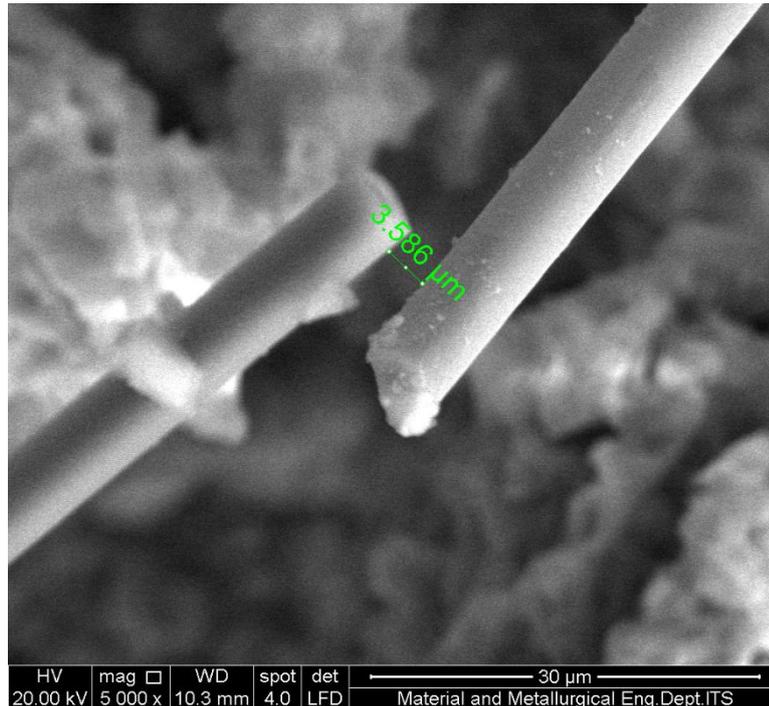
Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan fokus pada satu serat dengan perbesaran 1000 kali ditunjukkan pada Gambar 4.21. penginderaan dengan fokus pada serat yang membawa bagian patahan beton ini membuktikan bahwa cengkraman beton terhadap serat karbon sangat kuat.

Terbukti saat mengalami patahan, gagal konstruksi terjadi pada beton bukan pada perkuatan serat karbon atau lepasnya serat karbon dari beton. Sehingga, serat karbon berfungsi sebagai penguat berdasarkan hasil pengindaian dan dibuktikan pada hasil pengujian kuat tekan beton komposit.



Gambar 4. 22. Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan fokus pada ujung ke ujung serat karbon.

Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan fokus pada ujung ke ujung serat karbon ditunjukkan pada Gambar 4.22. pengindaian ini bertujuan untuk mengetahui jarak awal antar ujung serat karbon yang memberikan akses bagi elektron untuk mampu melompat dari ujung satu ke ujung lain. Jarak antar ujung serat karbon pada bagian ini diketahui $29.02 \mu\text{m}$ dan nilai elongasi dari beton secara uniform adalah 5.43% dari panjang keseluruhan 10 mm. Sehingga perubahan panjang adalah 0.543 mm. Dengan nilai elongasi dan jarak awal antar ujung serat karbon, sangat memungkinkan bagi elektron mampu melompat dan menurunkan nilai resistivitas dari beton komposit.



Gambar 4. 23. Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan fokus pada ujung ke ujung serat karbon dengan jarak 3.586 μm.

Hasil Pengujian SEM pada bagian patahan fokus pada ujung ke ujung serat karbon dengan jarak 3.586 μm ditunjukkan pada Gambar 4.22. . pengindaian ini bertujuan untuk mengetahui jarak awal antar ujung serat karbon yang memberikan akses bagi elektron untuk mampu melompat dari ujung satu ke ujung lain. Jarak antar ujung serat karbon pada bagian ini diketahui 3.586 μm dan nilai elongasi dari beton secara uniform adalah 5.43% dari panjang keseluruhan 10 mm. Sehingga perubahan panjang adalah 0.543 mm. Dengan nilai elongasi dan jarak awal antar ujung serat karbon, sangat memungkinkan bagi elektron mampu melompat dan menurunkan nilai resistivitas dari beton komposit.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dispersan dan konsentrasi dispersan mempengaruhi dispersi serat karbon pada beton komposit berpenguat serat karbon. Dispersan Carboxymethyl Cellulose dan Super plasticizer polycarboxylate menunjukkan nilai absorbansi tertinggi pada konsentrasi 0,8% dan disperse serat karbon yang tinggi. Absorbansi mengalami penurunan pada konsentrasi yang lebih tinggi. Sedangkan NaOH dengan ukuran ion Na jauh lebih kecil mampu mendispersikan serat karbon jauh lebih baik dengan nilai absorbansi yang naik seiring naiknya konsentrasi mulai 0 hingga 1.6%.

Komposisi serat karbon untuk komposit beton berpenguat serat karbon mempengaruhi kekuatan tekan dan piezoresistivity. Serat karbon terbukti mampu meningkatkan kekuatan beton normal dengan kuat tekan 40 Mpa menjadi kuat tekan maksimal 290 Mpa pada penambahan serat karbon 0.6 %berat. Penambahan serat karbon pada beton juga terbukti memberikan sifat piezoresistivity dengan konsistensi rate penurunan terpanjang Gage Factor pada penambahan komposisi serat karbon 0.4% berat beton.

Sifat komposit beton berpenguat serat karbon dispersan NaOH dengan komposisi serat karbon 0.4 %berat. Dapat diaplikasikan *concrete self load monitoring* dengan kriteria material yang *workable* terhadap dimensi benda yang diukur beratnya.



5.2. Saran

Sebelum penambahan Suspense serat karbon kedalam adonan beton sebaiknya serat karbon diberikan perlakuan pencucian. Agar sifat basa kuat suspens tidak berpengaruh banyak pada kekukatan beton komposit. Dalam pengukuran hambatan akan lebih baik jika menggunakan multimeter dengan kemampuan data logging. Sehingga data yang diperoleh lebih banyak dan berimbas pada resolusi data yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- A. H. Castro Neto (2009) "The electronic properties of graphene" Department of Physics, Boston University, 590 Commonwealth Avenue, Boston, Massachusetts 02215, USA.
- A.M. Wintermyer. (1955), "Dispersing Agent For Particle size", *Physical. Science.* Hal 1-14
- ASTM C1116 / C1116M - 10a. (2015), Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete
- ASTM C1768 / C1768M – 12 (2017), Standard Practice for Accelerated Curing of Concrete Cylinders
- ASTM C192 / C192M - 16a Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- ASTM C39 / C39M - 17b Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- Azhari F. Cement-based sensors for structural health monitoring. MAsc. Thesis. University of British Columbia; 2008 <<http://hdl.handle.net/2429/7324>>.
- B.K. LARSON, L. T. DRZAL and P. SOROUSIAN, (1990) "Carbon fibre-cement adhesion in carbon fibre reinforced cement composites", *Composites.* Volume 21 . Number 3.
- C. Li, E.T. Thostenson, T.-W. Chou, (2008) Sensors and actuators based on carbon nanotubes and their composites: a review, *Compos. Sci. Technol.* 68 1227–1249.
- C. Wang, K.Z. Li, H.J. Li, G.S. Jiao, J. Lu, D.S. Hou, (2008), "Effect of carbon fiber dispersion on the mechanical properties of carbon fiber-reinforced cement-based composites", *Mater. Sci. hal.* 52–57
- C.L. Victor, H.O. Karthikeyan. (1994), "Effect of fiber length variation on tensile properties of carbon", fiber cement composites, *Compos. Eng.* 4 (9) hal. 947–964.
- Chung D.D.L. (2000), "Cement reinforced with short carbon fibers: a multifunctional material", *Composites, Part B* 31, Vol (6–7), hal. 511 –526. *Concr Res*;36(10):1879–85.
- D. A. C. Brownson · C.E. Banks (2014) "The Handbook of Graphene Electrochemistry" ISBN 978-1-4471-6427-2
- D.A. Brown, J.H. Kim, H.B. Lee, G. Fotouhi, K.H. Lee, W.K. Liu, J.H. Chung, (2012) Electric field guided assembly of one-dimensional nanostructures for high performance sensors, *Sensors* 12 Hal 5725–5751.
- E.T. Thostenson, Z. Ren, T.-W. Chou, (2001) Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review, *Compos. Sci. Technol.* 61 HalS 1899–1912.
- Faezeh Azhari, Nemkumar Banthia, (2012), "Cement-based sensors with carbon fibers and carbon nanotubes for piezoresistive sensing", *Cement & Concrete Composites* Vol.34, Hal. 866–873.
- Hadi, B.K. (2001). "Mekanika Struktur Komposit". Departemen Pendidikan Nasional. Bandung.





- Jones, M. R., (1999), "Mechanics of Composite Material", Mc Graww Hill Kogakusha,Ltd.
- K. Qian, T. Chen, B. Yan, Y. Lin, D. Xu, Z. Sun, B. Cai, (2006) Studies on vacuum microelectronic pressure sensors based on carbon nanotubes arrays, Phys. E: Low- Dimens. Syst. Nanostruct. 31 Hal 1–4.
- M. L. Wang, J. P. Lynch and H. Sohn, Sensor Technologies for Civil Infrastructures, British Library Cataloguing-in-Publication Data.
- M. Sun, Q. Liu, Z. Li, Y. Hu, (2000) A study of piezoelectric properties of carbon fiber reinforced concrete and plain cement paste during dynamic loading, Cem. Concr. Res. 30 1593-1595
- M. Sun, Z. Li, Q. Mao, D. Shen, (1999) Study on thermal self-monitoring of carbon fiber reinforced concrete, Cem. Concr. Res. 29 (5) 769 - 771.
- M.F. De Volder, S.H. Tawfick, R.H. Baughman, A.J. Hart, (2013) Carbon nanotubes: present and future commercial applications, Science 339 Hal 535–539.
- Ou J, Han B. (2009) Piezoresistive cement-based strain sensors and self-sensing concrete components. J Intell Mater Syst Struct;20(3):329–36.
- R.H. Baughman, C. Cui, A.A. Zakhidov, Z. Iqbal, J.N. Barisci, G.M. Spinks, G.G. Wallace, A. Mazzoldi, D. De Rossi, A.G. Rinzler, O. Jaschinski, S. Roth, M. Kertesz, (1999) Carbon nanotube actuators, Science 284 Hal 1340–1344.
- Sulistijono, (2012), "Mekanika Material Komposit". Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Surdia, T., Saito, S., (1992), "Pengetahuan Bahan Teknik", PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- T. Ueda, M.M.H. Bhuiyan, H. Norimatsu, S. Katsuki, T. Ikegami, F. Mitsugi, (2008) Development of carbon nanotube-based gas sensors for NO_x gas detection working at low temperature, Phys. E: Low-Dimens. Syst. Nanostruct.
- T.-W. Chou, L. Gao, E.T. Thostenson, Z. Zhang, J.-H. Byun, (2010) An assessment of the science and technology of carbon nanotube-based fibers and composites, Compos. Sci. Technol. 70 Hal 1–19.
- Wen S, Chung DDL. (2005) Self-sensing characteristics of carbon fiber cement. Proceedings of ConMat'05 and Mindess Symposium. The University of British Columbia;
- Wen S, Chung DDL. (2006) Model of piezoresistivity in carbon fiber cement. Cem
- Wen S, Chung DDL. (2007) Piezoresistivity-based strain sensing in carbon fiber reinforced cement. ACI Mater J;104:171–9.
- X. Fu, W. Lu, D.D.L. Chung, (1998)Ozone treatment of carbon fiber for reinforcing cement, Carbon 36 (9) 1337–1345.
- Xiao H, Li H, Ou J. (2010) Modeling of piezoresistivity of carbon black filled cementbased composites under multi-axial strain. Sensors Actuators A Phys ;160(1–2):87–93.
- Y. Xu, D.D.L. Chung, (1999) "Improving the workability and strength of silica fume concrete by using silane treated silica fume", Cem. Concr. Res. 29 (3) 451–453.





LAMPIRAN

1. 1. Rule of Mixture

Mencari berat jenis dari komposit.

$$\rho_c = \frac{1}{\left(\frac{W_f}{\rho_f}\right) + \left(\frac{W_m}{\rho_m}\right)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Mencari fraksi volume fiber dan fraksi volume matriks.

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot \frac{v_f}{v_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot V_f \dots\dots\dots (2.3)$$

$$V_f = \frac{\rho_c}{\rho_f} \cdot W_f$$

$$V_m = \frac{\rho_c}{\rho_m} \cdot W_m$$

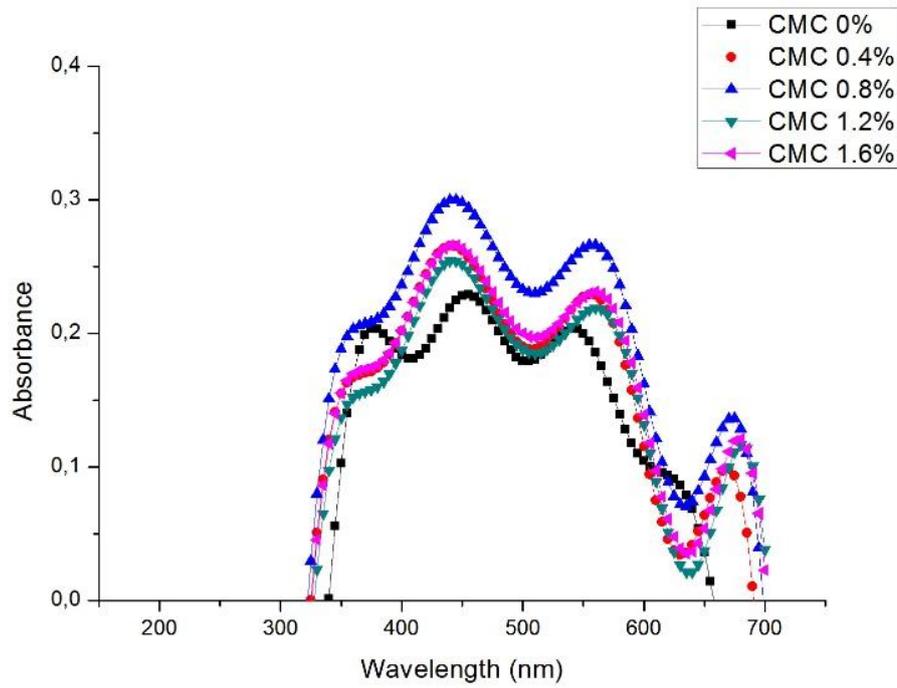
Mencari volume fiber dan volume matriks sehingga dapat diperoleh berat fiber dan berat matriks.

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} ; V_m = \frac{v_m}{v_c} \dots\dots\dots (2.1)$$

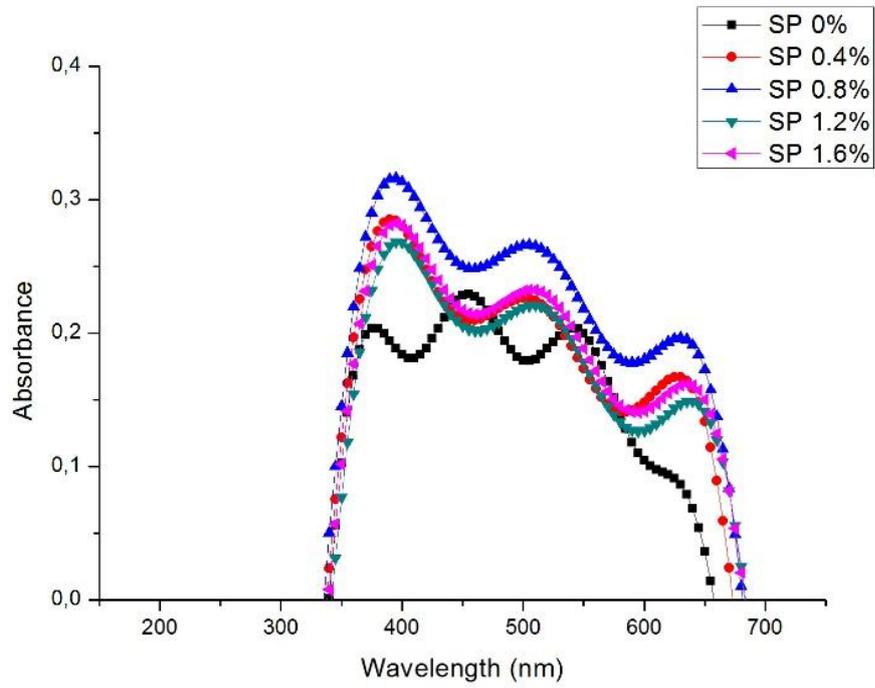
$$W_f = \frac{w_f}{w_c} ; W_m = \frac{w_m}{w_c} \dots\dots\dots (2.2)$$



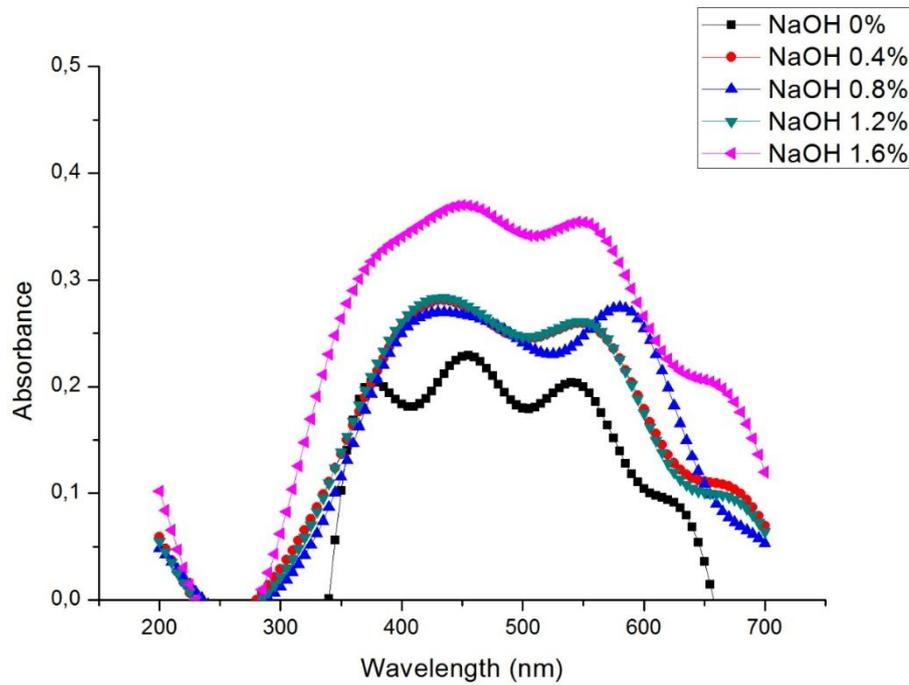
1. 2. Hasil pengujian UV-vis



Konsentrasi CMC	0	0,4	0,8	1,2	1,6
Absorbansi Maksimum	0,229	0,264	0,290	0,251	0,263



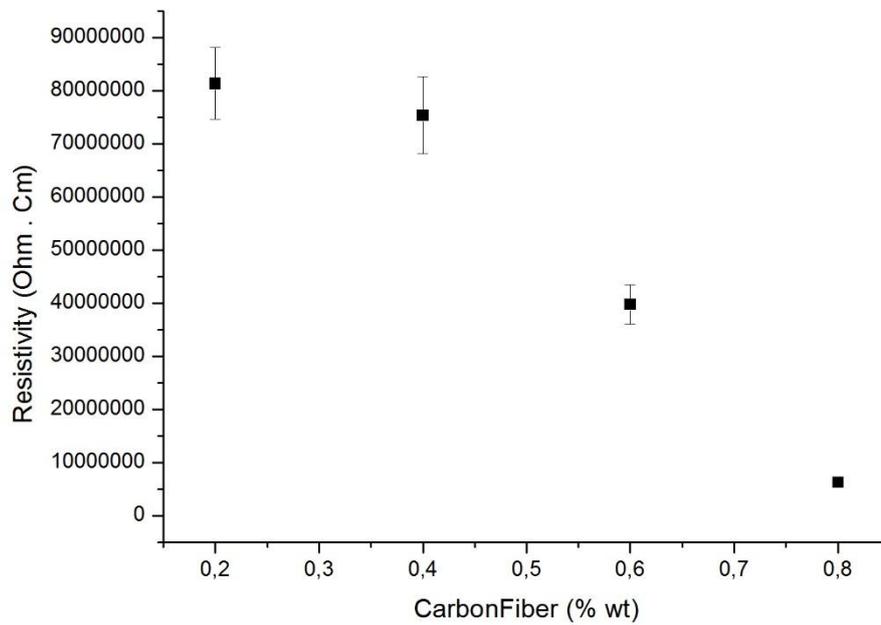
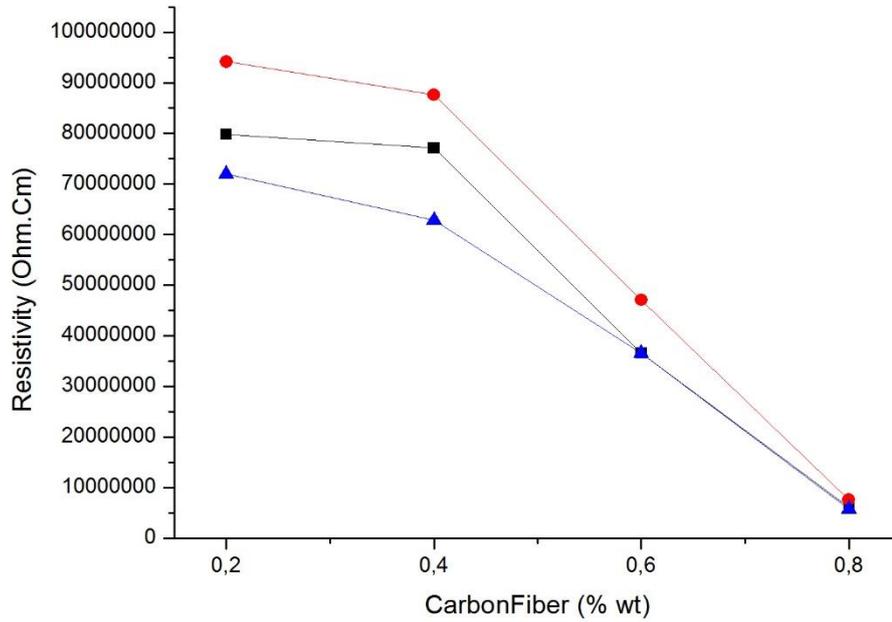
Konsentrasi SP	0	0,4	0,8	1,2	1,6
Absorbansi Maksimum	0,229	0,285	0,316	0,268	0,282

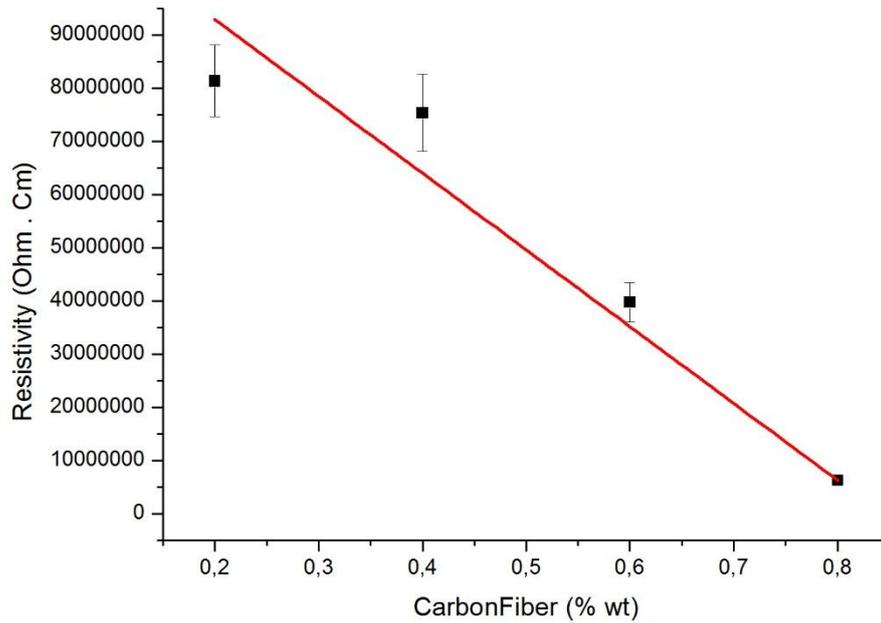


Konsentrasi NaOH	0	0,4	0,8	1,2	1,6
Absorbansi Maksimum	0,229	0,280	0,274	0,283	0,370



1. 3. Hasil pengujian resistivitas





1. 4. Hasil piezoresistivitas

