PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN SERBUK GRAFIT DALAM PASIR TERHADAP KONDUKTIVITAS LISTRIK BETON K-350

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains

***Oleh* :**

FITRI ANIKA

1101451/2011

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2015

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul	:	**Pengaruh Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350**
Nama	:	Fitri Anika
NIM	:	1101451
Program Studi	:	Fisika
Jurusan	:	Fisika
Fakultas	:	Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 9 Juli 2015

Disetujui oleh :

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Hj. Djusmaini Djamas, M.Si.	Dr. Ramli, S.Pd, M.Si.
NIP. 19530309 198003 2 001	NIP. 19730204 200112 1 002

PENGESAHAN LULUSAN UJIAN SKRIPSI

Nama	: Fitri Anika
NIM	: 1101451
Program Studi	: Fisika
Jurusan Fisika	: Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan judul

PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN SERBUK GRAFIT DALAM PASIR TERHADAP KONDUKTIVITAS LISTRIK BETON K-350

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan tim penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 4 Agustus 2015

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Dr. Hj. Djusmaini Djamas, M.Si.	
Sekretaris	: Dr. Ramli, S.Pd, M.Si.	
Anggota	: Dra. Syakbaniah, M.Si.	
Anggota	: Drs. Mahrizal, M.Si.	
Anggota	: Dra. Hj. Yenni Darvina, M.Si.	

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan tata cara penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 4 September 2015

Yang menyatakan,

Fitri Anika

Nim. 1101451

ABSTRAK

FITRI ANIKA : Pengaruh Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350

Beton konduktif yang menggunakan serbuk grafit sebagai material konduktif belum dioptimalkan dengan baik dalam penggunaan material konstruksi. Oleh karena itu, dimanfaatkanlah serbuk grafit sebagai bahan tambah dalam pasir untuk pembuatan beton yang bersifat konduktif. Sehingga dengan penambahan serbuk grafit dalam pasir ini diharapkan dapat menghasilkan konduktivitas listrik pada beton. Hal ini disebabkan dengan penambahan karbon (C) yang terkandung dalam serbuk grafit mampu menghantarkan listrik melalui pasta semen dan agregat, sehingga dapat meningkatkan konduktivitas listrik beton. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh variasi penambahan serbuk grafit dalam pasir terhadap konduktivitas listrik beton K-350 yang terbaik.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Aplikasi Semen dan Beton Biro Jaminan Kualitas PT Semen Padang. Variabel bebasnya adalah variasi penambahan serbuk grafit ke dalam pasir pada campuran beton K-350. Variasi penambahan serbuk grafit adalah 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, dan 20 % terhadap komposisi agregat halus (pasir), variabel terikatnya adalah konduktivitas listrik dalam volume beton K-350. Sedangkan jenis semen, agregat kasar (batu pecah 5 mm – 20 mm), volume beton dan air adalah variabel kontrol yang komposisinya sama untuk semua adukan.

Telah dilakukan pengujian konduktivias listrik dalam volume beton K-350 dengan variasi penambahan serbuk grafit 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % dengan menggunakan metode uji *Four-Point Probe*. Hasil pengujian nilai konduktivitas listrik dalam volume beton untuk setiap umur secara berturut-turut umur 7 hari adalah 0,0229 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0286 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0306 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0358 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0374 $(\Omega.m)^{-1}$. Pada umur 14 hari berturut-turut adalah 0,0132 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0177 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0207 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0250 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0291 $(\Omega.m)^{-1}$. Pada umur 21 hari berturut-turut adalah 0,0099 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0135 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0155 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0164 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0204 $(\Omega.m)^{-1}$. Sedangkan pada saat umur 28 hari nilai konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 berturut-turut adalah 0,0074 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0101 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0111 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0121 $(\Omega.m)^{-1}$, 0,0152 $(\Omega.m)^{-1}$. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan variasi penambahan serbuk grafit dapat meningkatkan nilai konduktivitas listrik dalam volume beton K-350, namun menurun terhadap umur beton. Hal ini disebabkan oleh pengaruh kandungan air yang dimiliki beton.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang maha memiliki ilmu dan maha luas ilmu-Nya karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan judul " Pengaruh Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350 ".

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak baik secara moril maupun secara materil. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Hj. Djusmaini Djamas, M.Si sebagai pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, dan saran untuk membimbing penulis.
2. Bapak Dr. Ramli, M.Si sebagai pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, dan saran untuk membimbing penulis.
3. Ibu Dra. Syakbaniah, M.Si, Bapak Drs. Mahrizal, M.Si dan Ibu Dra. Hj. Yenni Darvina, M.Si sebagai dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan saran kepada penulis.
4. Bapak Drs. Letmi Dwiridal, M.Si sebagai penasehat akademik yang telah memberikan arahan selama perkuliahan.
5. Bapak Drs. Akmam, M.Si, sebagai Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

6. Ibu Dra. Yurnetti, M.Pd sebagai Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
7. Ibu Dra. Hidayati, M.Si. sebagai Ketua Prodi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
8. Kepada seluruh staf pengajar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang yang telah membekali ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama perkuliahan.
9. Edi Kurnia, S.Si, Nofri Hardisal, S.Si, Toni Supriadi S.Si, sebagai asisten laboran dan terima kasih kepada Dessupr Niarti, S.Si, dan Tika yang telah banyak membantu dalam urusan administrasi di jurusan fisika FMIPA UNP.
10. Bapak Abusyamsari Nauman selaku Kepala Urusan Laboratorium Aplikasi Semen dan Beton PT SEMEN PADANG.
11. Bang Sony Arianto, Bang Ilham Wahyuni, Bapak Edi, Bapak Yusalmi dan semua karyawan di Biro Jaminan Kualitas PT SEMEN PADANG.
12. Khusus dan teristimewa kepada kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan semangat dan disertai dengan doanya untuk penulis dengan tiada henti-hentinya.
13. Teman-teman seangkatan dan seperjuangan.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan yang belum penulis sadari karena keterbatasan. Oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan agar tugas ini dapat disempurnakan, akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca, Amin.

Padang, 4 Agustus 2015

FITRI ANIKA
Nim.1101451

DAFTAR ISI

ABSTRAK i

KATA PENGANTAR ii

DAFTAR ISI v

DAFTAR GAMBAR vii

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR LAMPIRAN x

BAB I PENDAHULUAN 1

A. Latar Belakang 1

B. Rumusan Masalah 4

C. Batasan Masalah 5

D. Pertanyaan Penelitian 5

E. Tujuan Penelitian 6

F. Kontribusi Penelitian 6

BAB II KAJIAN TEORI 7

A. Beton 7

B. Beton Mutu K-350 26

C. Pasir 28

D. Grafit 29

E. Konduktivitas Listrik Material Grafit 34

F. Konduktivitas Listrik Beton 41

G. Pengaruh Penambahan Grafit Terhadap Konduktivitas Listrik Beton ..47

BAB III METODE PENELITIAN 49

A. Jenis Penelitian 49

B. Tempat dan Waktu Penelitian 49
C. Variabel Penelitian 50
D. Alat dan Bahan 51
E. Prosedur Penelitian 61
F. Teknik Pengumpulan Data 64
G. Teknik Analisa Data 64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 66
A. Deskripsi Data 66
B. Analisa Data 68
C. Pembahasan 75
BAB V PENUTUP 81
A. Kesimpulan 81
B. Saran 82
DAFTAR PUSTAKA 83
LAMPIRAN 87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gradasi sela 16
Gambar 2. Gradasi seragam 16
Gambar 3. Gradasi menerus 16
Gambar 4. Peristiwa segregasi dan bleeding 21
Gambar 5. Struktur Kristal Grafit 30
Gambar 6. Serbuk Grafit 31
Gambar 7. Konduksi elektronik dan elektrolitik yang kontak langsung elektroda dengan material Grafit (karbon) 35
Gambar 8. Spektrum Konduktivitas Listrik Dan Resistivitas 36
Gambar 9. Hubungan partikel konduktif terhadap resistivitas aspal beton 43
Gambar 10. Umur beton terhadap resistivitas listrik 44
Gambar 11. Model konduksi beton 44
Gambar 12. Bentuk Mikrostruktur Beton 45
Gambar 13. Model Konduksi Listrik Beton 46
Gambar 14. Pengaruh Kandungan Grafit Terhadap Resistivitas Beton 47
Gambar 15. Wadah tempat agregat 51
Gambar 16. *Sieve Shaker* 51
Gambar 17. Oven 52
Gambar 18. Timbangan 52
Gambar 19. Gelas Ukur 53
Gambar 20. Ember 53
Gambar 21. Sodok Semen dan Sendok Semen 54
Gambar 22. Mesin Pengaduk Campuran Beton (*Mixer*) 54
Gambar 23. Cetakan Sampel Beton 55
Gambar 24. Meja Getar (*Vibrator Table*) 55
Gambar 25. Alat Uji *Slump* 56
Gambar 26. *Curing Bath* (Bak Perendaman) 56
Gambar 27. Multimeter 57
Gambar 28. Kabel Buaya 57

Gambar 29. Kawat Tembaga..... 57
Gambar 30. *Power Supply*..... 58
Gambar 31. Metode *Four-Point Probe* 58
Gambar 32. Bentuk pengukuran Metode *Four-Point Probe* 58
Gambar 33. Konfigurasi elektroda Wenner 59
Gambar 34. Pasir..... 60
Gambar 35. (a) Batu pecah (5 mm - 10 mm), (b) Batu pecah (10 mm- 20 mm) .. 60
Gambar 36. Semen PCC (*Portland Composite Cement*) 60
Gambar 37. Bak perendaman beton..... 64
Gambar 38. Grafik Hubungan Persentase Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 7 Hari..... 69
Gambar 39. Grafik Hubungan Persentase Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 14 Hari..... 70
Gambar 40. Grafik Hubungan Persentase Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 21 Hari..... 72
Gambar 41. Grafik Hubungan Persentase Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 28 Hari..... 73
Gambar 42. Grafik Hubungan Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350. 74
Gambar 43. Grafik Hubungan Umur Beton Terhadap Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350..... 75

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian beton konduktif 2
Tabel 2. Syarat Fisika semen PCC..... 10
Tabel 3. Batas-batas gradasi agregat halus 19
Tabel 4. Batas-batas gradasi agregat kasar 23
Tabel 5. Komposisi Berat Semen, Pasir, dan Kerikil, serta Volume Air yang Dibutuhkan untuk membuat 1 m^3 Beton dengan Mutu Tertentu..... 27
Tabel 6. Sifat Fisik Grafit 32
Tabel 7. Sifat Mekanis Grafit..... 32
Tabel 8. Sifat Listrik Grafit..... 33
Tabel 9. Resistivitas Jenis Batuan Beku dan Batuan Metamorf 40
Tabel 10. Resistivitas batuan sedimen 40
Tabel 11. Perencanaan Komposisi Sampel Beton..... 61
Tabel 12. Rincian sampel beton yang dibuat untuk Penelitian 63
Tabel 13. Deskripsi Tegangan listrik Rata-rata dalam volume beton K-350 umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari..... 66
Tabel 14. Deskripsi Data perhitungan Resistansi Rata-rata dalam volume beton K-350 umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. 67
Tabel 15. Data Konduktivitas Listrik dalam volume Beton K-350 Umur 7 Hari untuk berbagai variasi penambahan serbuk grafit dalam pasir..... 68
Tabel 16. Data Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 14 Hari Untuk Berbagai Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir. 70
Tabel 17. Data Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 21 Hari Untuk Berbagai Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir. 71
Tabel 18. Data Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 28 Hari Untuk Berbagai Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir. 73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengukuran Tegangan Listrik yang dihasilkan dari Variasi Arus Listrik. 87
Lampiran 2. Perhitungan Nilai Resistansi dan Nilai Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350 95
Lampiran 3. Cara Pengujian Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350 Dengan Menggunakan Metode *Four-Point Probe*. 138

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pelaksanaan pembangunan yang senantiasa dilaksanakan berakibat pada meningkatnya kebutuhan akan bahan/material konstruksi, seperti jalan dan jembatan, perumahan atau gedung. Material konstruksi yang sering digunakan adalah beton. Beton menjadi pilihan utama karena beton merupakan bahan dasar yang mudah dibentuk dengan harga yang relatif murah dibandingkan dengan material konstruksi lainnya.

Menurut Mulyono (2004), "Beton ini merupakan bahan campuran antara semen, agregat kasar, agregat halus, air dan dengan atau tanpa bahan tambahan dengan perbandingan tertentu yang akan membentuk beton". Dalam pembuatan beton, pemilihan bahan-bahan yang digunakan sangat penting terutama untuk memperoleh mutu beton dengan sifat-sifat khusus yang diinginkan untuk tujuan tertentu dengan cara yang paling ekonomis.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kekayaan alam yang melimpah. Salah satunya adalah terdapat banyak kandungan mineral seperti grafit, batu kapur, kaolin, pasir kuarsa, silika, dan batu bara. Mineral ini merupakan salah satu bahan baku yang dapat digunakan sebagai material konstruksi. Sementara itu, menurut Lestari (2004) grafit merupakan zat bukan logam yang bewarna hitam yang mampu menghantarkan panas dengan baik, licin, tahan panas, dan dapat dihancurkan menjadi serbuk yang lebih kecil.

Sifat fisika grafit ditentukan oleh sifat dan luas permukaannya, grafit yang halus berarti mempunyai permukaan yang relatif lebih luas.

Oleh sebab itu, penelitian ini menggunakan serbuk grafit sebagai bahan tambahan pada pasir untuk membuat beton yang bersifat konduktif. Menurut Tian dkk (2012) beton konduktif merupakan pencampuran beberapa jumlah bagian material konduktif seperti grafit, biji besi, serat baja stainlis dan serat karbon pada beton. Beton konduktif ini diharapkan dapat diaplikasikan di bidang rekayasa jalan, tenaga listrik, pemeliharaan air, perisai elektromagnetik, perisai gelombang radio, alat untuk menghilangkan listrik statis, teknologi perlindungan logam anti korosi, mencairkan salju dijalanan, sebagai kontrol otomatis jalan raya dan efek elektrokalorik.

Perkembangan penelitian tentang beton konduktif di dunia dimulai di Cina. Dalam Tabel 1 didaftarkan beberapa penelitian tentang beton konduktif.

Tabel 1. Penelitian beton konduktif

NO	Penelitian	Peneliti dan Tahun
1	Electrical Conductivity of the Carbon Fiber Conductive Concrete.	Zuofu, dkk (2007)
2	Conductive concrete overlay for bridge deck deicing.	Yehia, Sherif (2008)
3	Shielding properties of conductive concrete against transient electromagnetic disturbances.	Ogunsola, dkk (2009)
4	Electrically Conductive Concrete for Heating Using Steel Bars as Electrodes.	Zuofu, dkk (2010)
5	Analysis of Resistance Characteristics of Conductive Concrete Using Press-Electrode Method.	Yao, dkk (2010)
6	An Environment-Friendly Conductive Concrete.	Tian, dkk (2012)

Berdasarkan penelusuran pustaka, di Indonesia belum ada penelitian tentang beton konduktif ini. Oleh sebab itu, peneliti tertarik mengangkat topik tentang beton konduktif ini sebagai penelitian eksperimen. Menurut Weidong (2007), Beton konduktif ini bisa digunakan dalam perisai gelombang

radio, pertahanan elektromagnetik, membangun peralatan perlindungan dari petir, alat untuk menghilangkan listrik statis, pemanasan lingkungan, pemanasan permukaan bangunan, teknologi perlindungan logam anti korosi, kontrol otomatis jalan raya, mencairkan salju dijalan bandara dan lain-lain. Adapun yang menjadi *filler* dalam pembuatan beton yaitu menggunakan serbuk grafit sebagai bahan tambah ke dalam agregat halus (pasir). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan beton yang berbiaya murah, awet, dan dapat menghasilkan konduktivitas listrik dan diaplikasikan sebagai beton konduktif.

Penggunaan serbuk grafit harus sesuai dengan persentase tertentu terhadap berat total agregat halus (pasir). Fungsi dari pemakaian serbuk grafit yaitu sebagai bahan tambahan dalam pasir pada campuran beton, karena serbuk grafit ini ukurannya sama dengan pasir.

Penambahan serbuk grafit ini diharapkan dapat menghasilkan konduktivitas listrik beton. Hal ini dilaksanakan seiring upaya untuk program pemerintah, agar bisa memanfaatkan bahan baku untuk menghasilkan produk baru dengan daya guna yang lebih tinggi.

Dalam penelitian ini, serbuk grafit digunakan sebagai bahan tambahan dalam pasir dan diharapkan dapat menghasilkan konduktivitas listrik. Hasil penelitian Garcia (2009) tentang konduktivitas listrik aspal mortar yang mengandung serat baja dan grafit menunjukkan bahwa resistivitas beton yang dihasilkan dari grafit sebesar 750 $\Omega.m$ dan 89,12 $\Omega.m$. Hal ini disebabkan karena meningkatnya kandungan serat baja dan grafit dalam campuran aspal mortar, sehingga terjadi penurunan resistivitas beton. Selain itu, penelitian

Shaopeng dkk (2005) yang menyelidiki konduktivitas aspal beton yang mengandung pengisi konduktif, menghasilkan resistivitas sebesar $3{,}7\times 10^{11}$ Ω.m dan $1{,}4\times 10^{3}$ Ω.m, dengan peningkatan persentase penambahan grafit dari 8 % sampai 12,7 %. Sehingga dengan meningkatnya persentase penambahan grafit maka resistivitas beton yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan serbuk grafit ini membentuk jaringan konduktif yang menyebar dalam campuran aspal beton.

Berdasarkan uraian di atas, Penulis tertarik melakukan pengujian menggunakan serbuk grafit sebagai bahan tambah agregat halus (pasir) dalam campuran beton, dengan variasi penambahan serbuk grafit yaitu 0%, 5%, 10%, 15 % dan 20% dari berat pasir. Mengacu kepada Standar Nasional Indonesia (SNI), dalam penelitian ini akan diselidiki pengaruh variasi penambahan serbuk grafit ke dalam pasir terhadap konduktivitas listrik beton. Penelitian ini diberi judul *Pengaruh Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350***.**

B. Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dari penelitian ini yaitu

1. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk grafit dalam pasir terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 ?
2. Bagaimana pengaruh umur beton terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 ?

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Pengukuran sifat fisika beton dibatasi hanya untuk konduktivitas listrik dalam volume beton K-350.
2. Variasi penambahan serbuk grafit pada campuran beton adalah 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % dari berat pasir .
3. Semen yang digunakan PCC (*Portland Composit Cement*) dari Semen Padang.
4. Agregat halus yang digunakan adalah pasir dari daerah Duku-Lubuk Alung yang butirannya lolos ayakan No. 4 diameter 4,75 mm.
5. Pengujian konduktivitas listrik dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari.
6. Pengujian Konduktivitas listrik menggunakan beton berbentuk balok dengan ukuran 50 x 10 x 10 cm.
7. Perendaman beton dibatasi sampai umur 7 hari.
8. Standar komposisi pembuatan beton K-350 menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI).

D. Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan yang melandasi penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk grafit dalam pasir terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 ?
2. Bagaimana pengaruh umur beton terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 ?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menyelidiki pengaruh penambahan serbuk grafit dalam pasir terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350.
2. Menyelidiki pengaruh umur beton terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350.

F. Kontribusi Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan beberapa kontribusi bagi perkembangan teknologi beton, antara lain sebagai berikut :

1. Memanfaatkan sumber daya alam untuk menjadikan suatu produk yang berguna bagi kesejahteraan masyarakat.
2. Peningkatan pemahaman dalam ilmu Fisika Material dan Biofisika yang berkaitan dengan sifat fisis dari beton K-350.
3. Memberikan informasi tentang pengembangan ilmu teknologi beton khususnya betonyang bersifat konduktif.
4. Menambah koleksi perpustakaan karena penelitian ini sebagai salah satu syarat menyelesaikan Strata Satu (SI) di jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

BAB II
KAJIAN TEORI

A. Beton

Beton ini terdiri atas agregat, semen dan air yang dicampur bersama-sama dalam keadaan plastis dan mudah untuk dikerjakan (Mulyono, 2004). Karena sifat ini menyebabkan beton mudah untuk dibentuk sesuai dengan keinginan pengguna. Sesaat setelah pencampuran, pada adukan terjadi reaksi kimia yang pada umumnya bersifat hidrasi dan menghasilkan suatu pengerasan dan pertambahan kekuatan. Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah.

Segel dkk (1997) menguraikan bahwa beton adalah suatu komposit dari bahan batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Sifat beton dipengaruhi oleh bahan pembentuknya serta cara pengerjaannya. Menurut Murdock dkk (2003), Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan, dan cara perawatannya. Karakteristik semen mempengaruhi kualitas beton dan kecepatan pengerasannya. Gradasi agregat halus mempengaruhi pengerjaannya, sedang gradasi agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton. Kualitas dan kuantitas air mempengaruhi pengerasan dan kekuatan.

Menurut Nawy (1996), pengertian beton itu sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.Sedangkan menurut Departemen Pekerjaan Umum (1990), beton sebagai campuran antara

semen portland atau semen hidrolik, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk masa padat (SNI-03-2847-2002).

Menurut Yunanda (2014), “Beton pada umumnya mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40% dan agregat sekitar 60% - 75%”. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun beton tersebut perlu dipelajari.

Kelebihan dan kekurangan beton :

a. Kelebihan

1) Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
2) Mampu memikul beban yang berat
3) Tahan terhadap temperatur tinggi
4) Biaya pemeliharaan yang kecil

b. Kekurangan

1) Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah
2) Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
3) Berat

1. Komponen-komponen Penyusun Beton

Bahan-bahan penyusun beton adalah :

a. Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air.Semen berfungsi sebagai perekat

agregat dan juga sebagai bahan pengisi. Semen dapat dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu semen non-hidrolik dan semen hidrolik.

1) Semen Non-Hidrolik

Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur. Kapur dihasilkan oleh proses kimia dan mekanis di alam. Kapur telah digunakan berabad-abad lamanya sebagai bahan adukan dan plesteran untuk bangunan. Hal tersebut terlihat pada piramida-piramida di Mesir yang dibangun 4500 tahun sebelum masehi. Kapur digunakan sebagai bahan pengikat selama zaman Romawi dan Yunani.Orang-orang Romawi menggunakan beton untuk membangun *Colloseum* dan *Parthenon*, dengan cara mencampur kapur dengan abu gunung yang mereka peroleh di dekat Pozzuoli, Italia dan mereka namakan Pozzolan (Mulyono, 2004).

2) Semen Hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolis antara lain kapur hidrolik, semen pozzolan, semen terak, semen alam, semen portland, semen portland pozzolan, semen portland terak tanur tinggi, semen alumina, dan semen ekspansif (Mulyono, 2004). ***Portland Composite Cement*** **(PCC)** ini merupakan contoh semen yang bersifat hidrolik. Semen PCC ini merupakan produk terbaru yang dikeluarkan oleh PT Semen Padang yang telah memenuhi (SNI 15-7064-2004).

Bahan pengikat hidrolik hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan organik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan organik lain antara lain terak tanur tinggi, pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan bahan anorganik 6%-35% dari massa semen portland komposit (SNI 15-7064-2004).

Syarat kimia semen PCC adalah memiliki kandungan SO_3 (*sulfur trioksida*) maksimum 4%. Sedangkan syarat fisika dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Syarat Fisika semen PCC

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Kehalusan	m^2/kg	280
2.	Kekekalan bentuk dengan autoclave: - Pemuaian - Penyusutan	 % %	 Maks. 0,80 Maks. 0,20
3.	Waktu pengikatan dengan alat vicat: - Pengikatan awal - Pengikatan akhir	 Menit Menit	 Min. 45 Maks. 375
4.	Kuat Tekan: - Umur 3 hari - Umur 7 hari - Umur 28 hari	 Kg/cm^2 Kg/cm^2 Kg/cm^2	 Min. 125 Min. 200 Min. 250
5.	Pengikatan semu: - Penetrasi akhir	 %	 Min. 50
6.	Kandungan udara dalam mortar	% volume	Maks. 12

(Sumber: SNI 15-7064-2004)

Semen PCC *(Portland Composite Cement)* ini merupakan turunan oleh semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) yang bahan baku pembuatannya sama dengan bahan baku OPC (*Ordinary Portland Cement*) tetapi pada semen PCC ditambahkan bahan berupa *filler* selain gypsum yang tidak terdapat pada semen OPC yaitu: *Lime stone, Fly Ash*

dan *Trass*. Ketiga bahan tersebut mempunyai kontribusi yang sangat-sangat penting sehingga semen type PCC (*Portland Composite Cement*) mempunyai kualitas yang dihasilkan lebih baik dari semen type OPC (*Ordinary Portland Cement*).

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan semen adalah batu kapur (CaO), batu silica (SiO_2), tanah liat (Al_2O_3) dan pasir besi/copperslag (Fe_2O_3), total kebutuhan bahan baku batu kapur yang depositnya terdapat di Bukit Karang Putih ($\pm$ 2 km dari pabrik) sebanyak $\pm$81%, batu silika yang depositnya berasal dari Bukit Ngalau (Jarak $\pm$ 1 ½ km dari pabrik) sebanyak $\pm$ 9% dan tanah liat yang terdapat disekitar pabrik sejumlah $\pm$ 9%, sedangkan kebutuhan pasir besi/copper slag $\pm$ 1% didatangkan dari Cilacap/Gresik. Pada pengilingan akhir ditambahkan Gypsum alam 3% - 5% yang didatangkan dari Thailand.

Kegunaan dari Semen PCC adalah sebagai berikut:

a) Digunakan untuk konstruksi umum semua mutu beton.
b) Struktur bangunan bertingkat.
c) Struktur jembatan.
d) Struktur jalan beton.
e) Bahan bangunan.
f) Beton pratekan dan pracetak.

g) Untuk pasangan bata, plesteran dan acian.

h) Untuk panel beton, *paving block*, *hollow brick*, batako, genteng, polongan, ubin dll.

Keunggulan dari Semen PCC adalah:

a) Lebih mudah dikerjakan.

b) Suhu beton lebih rendah sehingga tidak mudah retak.

c) Lebih tahan terhadap sulphat.

d) Lebih kedap air.

e) Permukaan acian lebih halus.

3) Sifat Fisika Semen

a) Kehalusan

Kehalusan dapat mewakili sifat-sifat fisika lainnya terutama terhadap kekuatan, bertambahnya kehalusan pada umumnya akan bertambah pula kekuatan, mempercepat reaksi hidrasi begitu pula waktu pengikatannya semakin singkat.

b) Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Kuat tekan merupakan sifat yang paling penting bagi mortar ataupun beton. Kuat tekan dimaksud sebagai kemampuan suatu material untuk menahan suatu beban tekan. Kuat tekan dipengaruhi oleh komposisi mineral utama. Trikalsium Silikat (C_3S) memberikan kontribusi yang besar pada perkembangan kuat tekan awal, sedangkan Dikalsium Silikat (C_2S) memberikan kekuatan semen pada umur yang lebih lama. Trikalsium Aluminate (C_3A) mempengaruhi kuat tekan

sampai pada umur 28 hari dan selanjutnya pada umur berikutnya pengaruh ini semakin kecil.

c) Panas Hidrasi

Panas hidrasi yaitu panas yang dihasilkan selama semen mengalami reaksi hidrasi. Reaksi hidrasi atau reaksi hidrolisis sendiri adalah reaksi yang terjadi ketika mineral-mineral yang terkandung didalam material, jumlah air yang digunakan dan bahan-bahan lain yang ditambahkan. Untuk semen yang lebih banyak mengandung Trikalsium Silikat (C_3S) dan Trikalsium Aluminate (C_3A) akan bersifat mempunyai panas hidrasi yang lebih tinggi.

b. Agregat

Menurut Paul Nugraha dan Antoni (2007), agregat menempati 70%-75% dari total volume beton sehingga kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*) dan ekonomis. Agregat terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus pada umumnya terdiri dari pasir atau partikel yang lewat saringan 4 mm atau 5 mm. Ukuran maksimum agregat kasar dalam struktur beton diatur dalam peraturan. Agregat yang umum dipakai adalah pasir, kerikil dan batu pecah. Beberapa alternatif yang diperhitungkan dalam pemilihan agregat adalah :

1) Agregat banyak terdapat di alam.
2) Ekonomis dan mudah dalam pengerjaan.

3) Mampu menghasilkan beton yang kuat, keras dan awet.

Persyaratan agregat yang harus dipenuhi adalah:

1) Agregat tersebut harus bersih.
2) Tidak bercampur dengan tanah.
3) Tidak mengandung lumpur.
4) Tidak mengandung bahan-bahan organik.
5) Tidak bersifat reaktif terhadap alkali.
6) Keras dan bebas dari penyerapan kimia.
7) Memiliki ketahanan yang baik terhadap cuaca dan abrasi.

Fungsi agregat hanya sebagai bahan pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, maka peran agregat menjadi sangat penting. Karena itu karakteristik dari agregat perlu dipelajari dengan baik, sebab agregat dapat menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan (Mulyono, 2004).

Sifat-sifat agregat dalam campuran beton adalah sebagai berikut:

a) Serapan air dan kadar air agregat

Presentasi berat air yang mampu diserap agregat di dalam air disebut serapan air sedangkan banyaknya air yang terkandung dalam agregat disebut kadar air.

b) Berat jenis dan daya serap agregat

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis dari agregat pada akhirnya akan menentukan berat jenis dari beton sehingga secara langsung menentukan banyaknya

campuran agregat dalam campuran beton. Hubungan antara berat jenis dengan daya serap adalah jika semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap air agregat.

c) Gradasi agregat

Untuk mendapatkan campuran beton yang baik kadang-kadang harus mencampur beberapa agregat. Dalam pekerjaan beton yang banyak dipakai adalah agregat normal dengan gradasi yang harus memenuhi syarat standar, namun keperluan yang khusus sering dipakai agregat ringan atau agregat berat.

Tipe-tipe gradasi agregat (Yunanda, 2014):

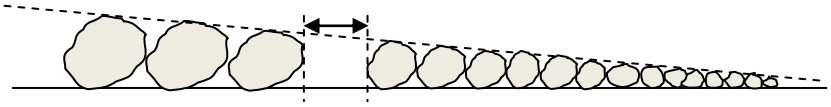
1) Gradasi sela (*gap gradation*)

Jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu setayakan tidak ada, maka gradasi ini akan menunjukkan satu garis horizontal dalam grafiknya. Keistimewaan dari gradasi ini antara lain :

(a) Pada nilai faktor air semen tertentu, kemudahan pengerjaan akan lebih tinggi bila kandungan pasir lebih sedikit.

(b) Pada kondisi kelecakan yang tinggi, lebih cenderung mengalami segregasi, oleh karena itu gradasi sela disarankan dipakai pada tingkat kemudahan pengerjaan yang rendah, yang pemadatannya menggunakan penggetaran (*vibration*).

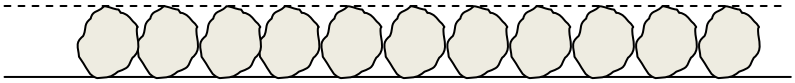
(c) Gradasi ini tidak berpengaruh buruk pada kekuatan beton.



Gambar 1. Gradasi sela

2) Gradasi seragam (*uniform gradation*)

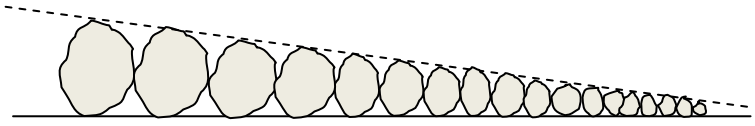
Agregat yang mempunyai ukuran yang sama didefinisikan sebagai agregat seragam. Agregat ini terdiri dari batas yang sempit dari ukuran fraksi, agregat dengan gradasi ini biasanya dipakai unutk beton ringan yaitu jenis beton tanpa pasir, atau untuk mengisi agregat dengan gradasi sela, atau untuk campuran agregat yang kurang baik atau tidak memenuhi syarat.



Gambar 2. Gradasi seragam

3) Gradasi menerus (*continous gradation*)

Didefinisikan jika agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Agregat ini lebih sering dipakai dalam campuran beton. Untuk mendapatkan angka pori yang kecil dan kemampatan yang tinggi sehingga terjadi *interlocking* yang baik, campuran beton membutuhkan variasi ukuran butir agregat. Dibandingkan dengan gradasi sela atau seragam, gradasi menerus adalah yang paling baik.



Gambar 3. Gradasi menerus

d) Modulus halus butir

Suatu indek yang di pakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Didefenisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal diatas satu set ayakan kemudian nilainya dibagi seratus. Penggunaan agregat dalam beton adalah

1) Menghemat penggunaan semen.
2) Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton.
3) Mengurangi susut pengerasan beton.
4) Mencapai susunan beton yang padat. Dengan gradasi yang baik, maka akan didapatkan beton yang kedap.
5) Mengontrol *workabilty* beton.

Agregat dibedakan berdasarkan besar ukuran butirnya, agregat kasar (kerikil) ukuran butiran di atas 4,80 cm sedangkan di bawah 4,80 cm dinamakan dengan agregat halus (pasir). Dalam praktek agregat umumnya digolongan menjadi tiga kelompok yaitu batu (besar butir lebih dari 40 mm), kerikil (besar butir 5 mm – 40mm), pasir dan lumpur (besar butir kurang dari 0,15 mm, menyebabkan turunnya kekuatan beton). Agregat harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, keras, kuat, gradasi baik, memiliki kestabilan kimiawi, tahan aus dan cuaca.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 agregat dapat digolongkan menjadi 2 kelompok yaitu :

1. Agregat halus

Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm. Menurut Tjokrodimulyo (2007), syarat agregat halus yang dipakai sebagai campuran beton adalah sebagai berikut :

a) Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.
b) Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0.063 mm. Jika lebih dari 5% maka agregat harus dicuci.
c) Tidak boleh mengandung bahan-bahan organik yang terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi persyaratan dari percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak boleh kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan NaOH 3%, yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.

d) Agregat halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan berturut-turut 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, harus memenuhi syarat sebagai berikut:
    1) Sisa diatas ayakan 4 mm, harus minimum 2 % berat.
    2) Sisa diatas ayakan 1 mm, harus minimum 10 % berat.
    3) Sisa diatas ayakan 0.25 mm, harus minimum 80% - 95% berat.

Istilah agregat halus harus diartikan sebagai bahan partikel yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200, dan biasanya disebut pasir. Lokasi-lokasi sumber agregat halus antara lain adalah sungai, gunung, dan pantai. Namun yang biasanya dipakai adalah agregat halus yang berasal dari sungai. Dalam buku perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton (1994), agregat halus (pasir) dapat dibagi menjadi empat jenis menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Batas-batas gradasi agregat halus

Lubang (mm)	Persen Berat Butir yang lewat ayakan Jenis agregat halus			
	Kasar	Agregat	Agak Halus	Halus
1,0	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	010	0-10	0-15

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Susunan besar butir (gradasi) agregat dalam suatu timbunan terdiri dari butiran-butiran batuan dengan beberapa ukuran butir dari ukuran besar sempai ukuran kecil. Jika butiran-butiran ini dipisah-pisahkan kedalam beberapa ukuran tertentu, maka diperoleh suatu pembagian besar butir yang masing-masing bagian (fraksi) terdiri dari butiran-butiran berukuran sama atau antara batas-batas ukuran tertentu.

Untuk memisahkan butiran ini dipergunakan ayakan dengan berbagai macam ukuran lubang yang telah distandarkan. Guna memperoleh gambaran tentang susunan besar butir suatu agregat (gradasi) dilakukan analisa ayak dan digambarkan kurva susunan butirnya. Gradasi agregat terutama agregat halus sangat penting peranannya dalam membuat beton bermutu, karena gradasi ini sangat berpengaruh terhadap beberapa sifat beton antara lain:

a) Beton Segar
   1) Kelecekan (workabilitas)
   2) Sifat kohesif
   3) Air pencampur dan semen pengecoran dan pemadatan
   4) Keadaan permukaan
   5) Segregasi (pemisahan butir)
   6) *Bleeding* (terpisahnya air ke permukaan beton)

b) Beton Keras

Bila beton segarnya sukar dipadatkan, terjadi segregasi (pemisahan kerikil) dan bleeding (pemisahan air), maka akan

menghasilkan beton keras yang poros (berpori-pori dalam jumlah banyak sehingga menyerap air), tidak kedap air, tidak merata dan terdapat banyak rongga atau cacat-cacat yang akan mengurangi kekuatan dan keawetan. Dalam pembuatan beton untuk menjaga gradasi agregat selalu konstan agar diperoleh kelecakan dan sifat-sifat beton segar yang konstan pula.

SEGREGASI
Pemisahan butiran-butiran kasar dari campuran beton, dilihat secara visual

PENYEBAB
kurang semen, terlalu banyak air, ukuran agregat maksimum > 40 mm, alat pengaduk tidak sesuai

BLEEDING
Air naik ke permukaan membawa semen dan butir-butir halus, terbentuk selaput yang tidak berguna

PENYEBAB
gradasi agregat yang kurang baik, terlalu banyak air, proses hidrasi yang lambat, dan pemadatan yang berlebihan

Gambar 4. Peristiwa segregasi dan bleeding (Yunanda, 2014)

Spesifikasi serta metoda pemeriksaan kualitas agregat halus pada penelitian ini mengacu pada SNI sebagai berikut :

a) SNI 03-2847-2002 untuk pemeriksaan gradasi agregat.
b) SNI 1970:2008 untuk pemeriksaan berat jenis dan absorpsi.
c) SNI 03-4804-1998 untuk pemeriksaan berat volume.
d) SNI 03-4142-1996 untuk pengujian kadar lumpur.
e) SNI 1971:2011 untuk pengujian kadar air

2. Agregat kasar

Agregat kasar adalah partikel yang tertahan pada saringan No. 4 dan sering juga disebut dengan kerikil.Seperti halnya pasir, kerikil juga diperoleh dari sungai, gunung dan pantai. Dibedakan atas 2 (dua) jenis, yaitu kerikil yang berasal dari alam (*koral*) dan yang dibuat dari batu pecah (*Split*). Kerikil merupakan sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm dan 40 mm.

Syarat agregat kasar yang dipakai sebagai campuran beton adalah sebagai berikut :

a) Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 5 mm.
b) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.

c) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur lebih dari 1%, maka agregat kasar harus dicuci.

d) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang merusak beton, seperti zat-zat alkali yang reaktif.

e) Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan *Impact test*, dimana presentase kehancuran maksimum adalah 30%. Selain itu juga dapat digunakan mesin pengaus Los Angeles, dimana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50 %. Dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Batas-batas gradasi agregat kasar

Ukuran saringan	**% berat lolos saringan berdasarkan ukuran butir nominal**		
(mm)	**38.00 - 4.76**	**19.00 - 4.76**	**9.60 - 4.76**
38.00	95 - 100	100 - 100	
19.00	37 - 70	95 - 100	100 - 100
9.52	10 - 40	30 - 60	50 - 85
4.76	0 - 5	0 - 10	0 - 10

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Spesifikasi serta metoda pemeriksaan kualitas agregat kasar pada penelitian ini mengacu pada SNI seperti berikut :

a) SNI 03-2847-2002 untuk pemeriksaan gradasi agregat.

b) SNI 1969:2008 untuk pemeriksaan berat jenis dan absorpsi.

c) SNI 1971:2011 untuk pemeriksaan kadar air.

d) SNI 03-4804-1998 untuk pemeriksaan berat volume.

e) SNI 03-4142-1996 untuk pemeriksaaan kadar lumpur.

c. Air

Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam pembuatan beton. Didalam campuran beton, air mempunyai dua fungsi, pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan dan kedua sebagai pelicin campuran kerikil, pasir, dan semen agar memudahkan pencetakan.

Penentuan sedikitnya air akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya akan berkurang. Sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran, tetapi kekuatan beton menjadi rendah. Proporsi air ini dinyatakan sebagai rasio air-semen (*water-cement ratio*), yaitu angka yang menyatakan perbandingan antara berat air (*kg*) dibagi dengan berat semen (*kg*) dalam adukan beton tersebut. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai. Sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton (Teknologi Inspeksi Beton, Balai Besar Bahan & Barang Teknik, Departemen Perindustrian, Tahun 2013).

Air yang dimaksud disini adalah air sebagai bahan pembantu dalam konstruksi bangunan meliputi kegunaannya dalam pembuatan dan perawatan beton. Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan

kemudahan dalam pengerjaan beton. Kekuatan dari pasta pengerasan semen ditentukan oleh perbandingan berat antara semen dan faktor air.

Menurut SNI 03-2847-2002 air yang dapat digunakan dalam proses pencampuran beton adalah sebagai berikut :

1) Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2) Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3) Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:
    a) Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
    b) Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

Air untuk adukan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, bahan organik atau bahan lain yang dapat merusak. Air yang dapat diminum dapat digunakan untuk adukan beton, akan tetapi air yang dapat digunakan untuk adukan beton tidak berarti dapat diminum. Misalkan untuk perawatan selanjutnya keasamaan (pH) tidak boleh >6, juga tidak boleh mengandung kapur karena dapat mengurangi kekuatan betonnya.

Air pada campuran beton diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan menjadi pelumas antar butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Pemadatan yang kurang baik, akan menimbulkan sarang kerikil (*honeycomb*) yang mengakibatkan beton keropos. Daya kerja beton diukur dari nilai *slump*. Nilai *slump* beton untuk bangunan berkisar 7,5 hingga 15 cm.

Dalam pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

1) Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
2) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram.
3) Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.

B. Beton Mutu K-350

Menurut SNI DT – 91 – 0008 – 2007, beton mutu K-350 adalah beton dengan karakteristik yang mempunyai nilai kuat tekan sebesar $\pm$ 350 kg/cm^2

pada umur 28 hari. Beton ini termasuk golongan beton bermutu tinggi, untuk jelasnya dapat dilihat seperti Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi Berat Semen, Pasir, dan Kerikil, serta Volume Air yang Dibutuhkan untuk membuat 1 m^3 Beton dengan Mutu Tertentu.

Mutu Beton	Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Air (liter)
K-100	247	869	999	215
K-125	276	828	1012	215
K-150	299	799	1017	215
K-175	326	760	1029	215
K-200	352	731	1031	215
K-225	371	698	1047	215
K-250	384	692	1039	215
K-275	406	684	1026	215
K-300	413	681	1021	215
K-325	439	670	1006	215
K-350	448	667	1000	215

Sumber: SNI – 91- 0008 – 2007 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton, oleh Dept Pekerjaan Umum).

Dari berbagai mutu beton seperti dilihat pada Tabel 5, semakin tinggi mutu betonnya jumlah air yang dibutuhkan tetap sama, jumlah semen yang dibutuhkan semakin banyak, sedangkan jumlah agregat halus yang dibutuhkan semakin berkurang. Jumlah agregat kasar yang dibutuhkan mulai dari mutu beton K-100 sampai K-225 semakin banyak, sedangkan jumlah agregat kasar yang dibutuhkan mulai dari mutu beton K-250 sampai K-350 semakin berkurang.

Standar Mutu beton yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah beton mutu K-350 karena termasuk golongan beton bermutu tinggi sehingga kuat tekannya juga tinggi, aplikasinya pada sebuah bangunan adalah menjadikan bangunan tersebut menjadi kuat, tidak mudah runtuh, dan tidak mudah retak.

C. Pasir

Menurut ASTM C 33-90 Pasir merupakan agregat halus yang memiliki butiran < 55 mm atau lolos saringan no.8 yang diperoleh dari batuan alam (natural sand) atau dapat juga dengan memecahnya (artificial sand), tergantung dari kondisi pembentukan tempat terjadinya.

Penelitian ini menggunakan pasir sungai (pasir duku) sebagai agregat halus. Pasir sungai mempunyai butir-butir yang tidak terbilang bulat, pasir sungai ini begitu kecil, sehingga butiran-butirannya terbawa oleh air, tanpa selalu menggelinding di dasar sungai. Menurut Farto (2011) pasir dan kerikil dapat juga digali dari laut asalkan pengotoran serta garam-garamnya dibersihkan dan kulit kerang disisihkan. Jenis pasir dapat dibedakan asal dan sifat pasir seperti pasir gunung, pasir ini ditemukan di daerah-daerah yang terletak agak tinggi dan banyak mengandung kerikil. Jenis pasir sungai ini mempunyai butiran yang tak merata. Pasir ini sangat baik untuk membuat mortar (adukan) karena unsure-unsur pengikatnya dapat mencegah dengan baik pada permukaan kasar butiran tersebut. Pasir laut, jenis pasir ini banyak mengandung kapur karena sisa-sisa kulit kerang. Pada penelitian ini menggunakan pasir alam sebagai agregat halus dan ditambahkan dengan serbuk grafit 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat pasir, karena pasir ini memiliki karakteristik atau ukuran yang sama dengan serbuk grafit. Namun, pasir yang digunakan dalam campuran beton adalah pasir silika (SiO_2). Pasir merupakan produk dari hancurnya batu batuan dalam jangka waktu lama. Alasan pemakaian pasir sebagai bahan cetakan adalah karena murah dan

ketahanannya terhadap temperature tinggi. Ada dua jenis pasir yang umum digunakan yaitu naturally bonded (banks sands) dan synthetic (lake sands). Karena komposisinya mudah diatur, pasir sinetik lebih disukai oleh banyak industri pengecoran. Pemilihan jenis pasir untuk cetakan beton melibatkan beberapa faktor penting seperti bentuk dan ukuran pasir. Sebagai contoh, pasir halus dan bulat akan menghasilkan permukaan produk yang mulus/halus. Untuk membuat pasir cetak selain dibutuhkan pasir juga pengikat clay/lempung dan air. Ketiga Bahan tersebut diaduk dengan komposisi tertentu dan siap dipakai sebagai bahan campuran beton (Abdulah, 2008).

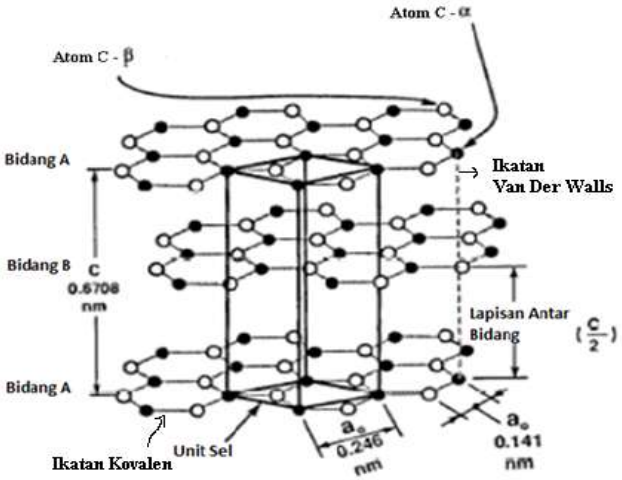
Menurut Tian dkk (2012), Grafit merupakan semacam bahan atau material konduktif yang baik.Grafit ini berkaitan dengan konduksi listrik dan juga bahan yang populer digunakan dalam beton konduktif karena konduktivitas yang baik, sifat yang stabil, dan ramah lingkungan. Serbuk grafit atau karbon (C) yang dimanfaatkan adalah sifat listriknya atau sifat konduktivitas listriknya di dalam beton konduktif.

D. Grafit

Grafit menurut bahasa yunani yaitu "*graphein*" yang artinya menulis. Pada tahun 1789 Abraham Gottlob Werner menamai *graphein* yaitu untuk menggambar/menulis. Grafit adalah salah satu bentuk allotropi dari karbon dengan konfigurasi elektron sp^2 dengan struktur berupa jaringan planar heksagonal biasanya disebut struktur *Hexagonal Closed Pack* (HCP).

Struktur Kristal grafit berbentuk heksagonal dimana ikatan antara atom-atom karbonnya membentuk orbital atom trigonal yang saling berikatan

membentuk ikatan kovalen dengan hibridisasi sp^2. Hal ini terjadi karena hanya ada tiga orbital ikatan yang terlibat secara efektif terlokalisasi maka orbital keempat memungkinkan elektron bergerak bebas pada lapisan atom C, sehingga menyebabkan grafit bersifat konduktor. Dapat dilihat struktur Kristal grafit pada Gambar 5 (Rand, 2009).



Gambar 5. Struktur Kristal Grafit (Rand, 2009)

Struktur Kristal grafit diilustrasikan pada Gambar 5, dimana grafit dapat dikatakan berbentuk tiga dimensi dengan ikatan kimia berupa ikatan konvalen. Grafit mempunyai ikatan yang lebih kuat pada daerah bidangnya dibandingkan dengan ikatan antar bidang yang mempunyai ikatan lebih rendah dari pada ikatan *van der walls*. Pada atom C - alfa dalam lingkaran penuh memiliki tetangga langsung di atas dan di bawah pada bidang terdekat dan pada atom C - beta tidak memiliki tetangga langsung pada bidang terdekat. Jarak antar atom pada lapisan bidangnya 0,141 nm, jarak antar atom C - alfa yaitu 0,246 nm, jarak antar atom pada lapisan bidang pertama dan atom pada

lapisan bidang ketiga yaitu 0,670 nm dan jarak antar atom lapisan bidang pertama dan atom lapisan bidang kedua yaitu 0,335 nm.

Grafit (C) memiliki ikatan kovalen dan ikatan Van der waals seperti terlihat pada gambar 5 dimana pada Kristal grafit, ikatan kovalen terjadi antar atom-atom C pada lapisan tertentu, serta ikatan Van der walls terjadi antar lapisan (Companion, 1991). Ikatan kovalen merupakan ikatan yang terjadi karena pemakaian bersama beberapa pasangan elektron oleh atom-atom dengan valensi sama yang saling berikatan dan Ikatan Van der Waals adalah ikatan antar molekul yang dibentuk oleh gaya ikat Van der Waals, yaitu gaya tarik-menarik elektrostatis akibat distribusi muatan listrik yang tidak simetris dalam molekulnya (Bibit, 2004).

Menurut Wanibesak (2011), Grafit dapat menghantarkan listrik dikarenakan satu elektron terikat agak lemah, sehingga dapat mengalir dari satu atom ke atom lainnya. Bentuk grafit dapat dilihat seperti Gambar 6.

Gambar 6. Serbuk Grafit

Beberapa penggunaan grafit berdasarkan sifatnya yang licin dan kemampuannya dalam menghantarkan listrik yaitu:

1) Sebagai anode dalam batu baterai dan dalam berbagai proses industri yang menggunakan elektrolisis, misalnya pada peleburan aluminium.

2) Grafit dicampur dengan tanah liat untuk membuat pensil, dan bahan kosmetik.
3) Bahan pelumas.
4) Sebagai komponen dalam pembuatan komposit. Ikatan antar atom karbon dalam setiap lapisan grafit sangat kuat, lebih kuat dari pada baja. Oleh karena itu, serat grafit digunakan untuk membentuk komposit.

Menurut Tian dkk (2012), menyatakan bahwa Grafit adalah sejenis bahan konduktif yang baik. Hal ini banyak digunakan dalam bidang yang terkait dengan konduksi listrik dan juga bahan yang populer digunakan dalam beton konduktif. Sifat dari grafit memiliki konduktivitas yang baik, sifat yang stabil, sumber material yang luas dan tidak ada pencemaran terhadap lingkungan. Grafit (karbon) memiliki beberapa sifat yaitu berdensitas rendah, temperatur leburnya tinggi, dan memiliki konduktivitas listrik yang baik. Beberapa sifat fisik grafit, sifat mekanis grafit dan sifat listrik grafit dapat dilihat pada Tabel 6, 7Tabel 7 dan 8.

Tabel 6. Sifat Fisik Grafit

Sifat Fisik Grafit	
Densitas (gr/cm^3)	2,267
Warna	Hitam keabu-abuan
Struktur Kristal	Hexagonal
Titik Lebur (^oC)	4027-4427
Titik Didih (^oC)	3727
Kapasitas Panas ($J.mol^{-1}.K^{-1}$)	8,517 (25^oC)

(Sumber: Anggara, 2008)

Tabel 7. Sifat Mekanis Grafit

Sifat Mekanis Grafit	
Konduktivitas Termal ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	119-165 (300 ^oK)
Kekerasan (Mohs Scale)	1-2

(Sumber: Anggara, 2008)

Tabel 8. Sifat Listrik Grafit

Sifat Listrik Grafit	
Konduktivitas Listrik	3,5834S/cm

(Sumber: Yunasfi, 2010)

Adapun sifat kimia yang dimiliki grafit adalah :

1) Tidak berbau dan tidak beracun
2) Tidak mudah larut, kecuali dalam asam hidroflorik atau aqua regia mendidih.
3) Proses dekomposisi berlangsung lambat pada suhu 600^0C dan dalam kondisi oksida atau pada suhu 3.500^0C bila kondisi bukan oksida.
4) Grafit adalah panas yang cukup baik tetapi bersifat rapuh.
5) Akibat delokalisasi elektron antar permukannya, grafit dapat berfungsi sebagai konduktor listrik.
6) Menghantarkan listrik. Elektron yang terdelokalisasi bebas bergerak di seluruh bagian lembaran atom. Jika setiap bagian grafit terhubung pada suatu sirkuit, elektron akan dapat berpindah dari ujung lembaran dan dapat digantikan oleh elektron yang baru pada ujung yang lain.
7) Tidak larut dalam air dan pelarut organik dengan alasan yang sama seperti intan yang tidak larut. Daya tarik antara molekul pelarut dan atom karbon tidak akan pernah cukup kuat untuk melampaui ikatan kovalen yang kuat pada grafit.

Menurut Andrio (2010), menyatakan bahwa grafit merupakan penghantar listrik dan panas yang cukup baik tetapi bersifat rapuh. Ditinjau dari segi ketahanan terhadap korosi, grafit merupakan bahan yang bidang

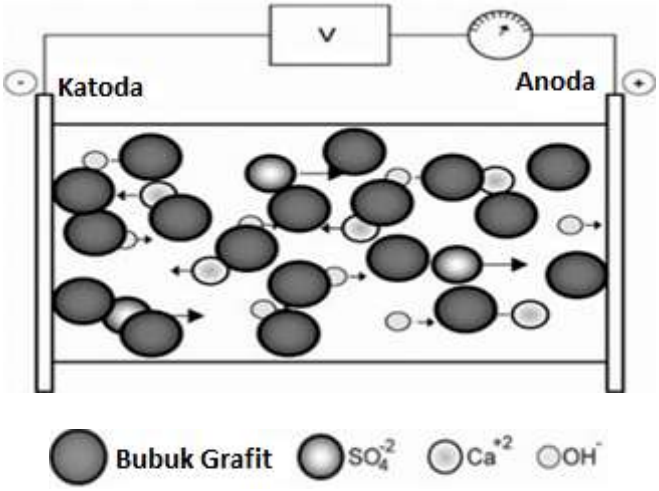
penggunaannya sangat luas. Bahan tersebut tahan terhadap semua asam dan sebagian basa hingga di atas 100 ^{o}C.

Karakteristik spesifik dari grafit yaitu mempunyai resistivitas listrik yang rendah, sifat lubrikasi yang baik, konduktivitas termal yang tinggi dan stabil secara kimia. Grafit ini mempunyai stuktur lapis dengan susunan atom heksagonal yang mempunyai bidang sisi dan bidang dasar. Tiga elektron valensi dari atom C terikat secara kovalen, sedangkan elektron ke-empat bergerak bebas di antara lapisan. Elektron ke-empat ini yang menimbulkan arus listrik dan memberi nilai konduktivitas (Yunasfi, 2010).

E. Konduktivitas Listrik Material Grafit

Sifat daya hantar listrik material dinyatakan dengan konduktivitas, yaitu kebalikan dari resistivitas atau tahanan jenis penghantar. Menurut Vlack (2004), menyatakan bahwa material dapat dibedakan dari sifat-sifatnya dan diklasifikasikan menjadi berbagai tipe, yaitu logam, non-logam dan komposit. Sifat-sifat dari suatu material dibedakan menjadi sifat mekanik, sifat listrik, sifat termal, sifat magnetik dan sifat optik. Sifat dari material tersebut perlu diketahui, sebagai nilai-nilai pembanding yang diperlukan untuk desain produk dalam penelitian material yang dijadikan sebagai nilai-nilai kuantitatif yang berhubungan dengan sifat-sifat tersebut. Menurut Telford dkk (1990), menyatakan bahwa sifat kelistrikan batuan merupakan karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik terhadapnya. Ada tiga macam golongan aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral, yaitu konduksi secara elektronik,

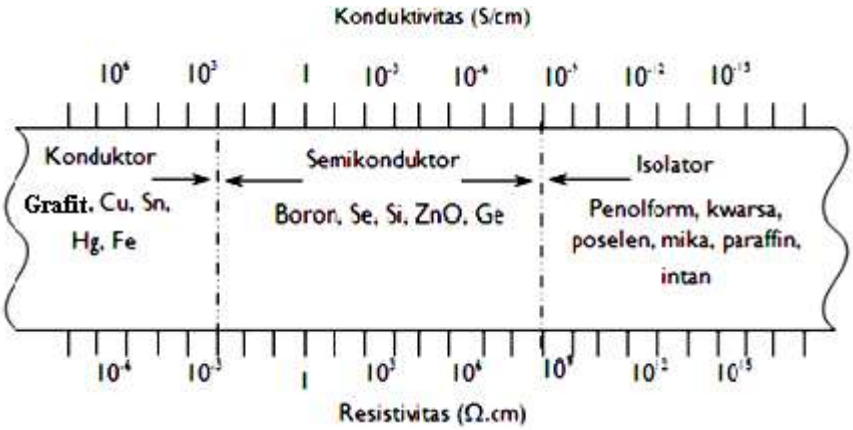
konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik. Dapat dilihat pada Gambar 7 bentuk konduksi elektronik dan konduksi elektrolitik.



Gambar 7. Konduksi elektronik dan elektrolitik yang kontak langsung elektroda dengan material Grafit (karbon) (Wen, 2006).

Kondisi elektronik terjadi jika batuan memiliki banyak elektron bebas, sehingga arus listrik mudah melalui batuan. Konduksi elektrolitik terjadi pada batuan yang bersifat porus dan pori-pori yang berisi larutan elektrolit, dimana arus listrik mengalir akibat dibawa oleh ion-ion larutan elektrolit. Konduksi dielektrik terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik, yang artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas sedikit dan bahkan tidak ada. Berdasarkan daya hantar dan daya hambat yang dimilikinya, sehingga material alami dan buatan yang terdapat di alam dapat dibedakan menjadi isolator, konduktor dan semikonduktor. Konduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik karena banyak memiliki elektron bebas. Isolator merupakan material yang tidak dapat menghantarkan arus listrik karena tidak memiliki elektron bebas. Semikonduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik namun tidak sebaik konduktor. Dalam sifat

resistivitas suatu material berbanding terbalik dengan sifat konduktivitasnya. Material yang memiliki nilai resistivitas besar akan sulit mengalirkan arus listrik, sedangkan material yang memiliki resistivitas rendah, maka memiliki konduktivitas yang tinggi. Namun, material tersebut memiliki nilai konduktivitas listrik yang berbeda-beda, hal ini dapat dilihat pada spektrum konduktivitas listrik pada Gambar 8.



Gambar 8. Spektrum Konduktivitas Listrik Dan Resistivitas (Irzaman dkk, 2010)

Konduktivitas listrik merupakan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika semakin besar nilai konduktivitas semakin baik sifat bahan dalam menghantarkan arus listrik. Energi listrik tersebut dapat ditransfer melalui materi berupa hantaran yang bermuatan listrik yang berwujud arus listrik. Pengangkut arus dalam material berbeda-beda, muatan partikel yang bergerak dapat berupa positif atau negatif. Dalam logam muatan yang bergerak selalu elektron (negatif), sedangkan dalam gas yang terionisasi (plasma) atau larutan, muatan yang bergerak dapat memasukkan kedua elektron dan ion bermuatan positif (Young, 2003).

Menurut Maghrifandi dkk (2012), nilai konduktivitas listrik bergantung pada fraksi volume serbuk dan kandungan minimum serbuk grafit, dimana serbuk grafit tersebut membentuk jaringan kerja yang bersambung, yang menentukan grafit menjadi konduktif secara elektrik. Faktor-faktor yang mempengaruhi konduktivitas listrik yaitu konduktivitas serbuk, fraksi volume dan karakteristik serbuk seperti: ukuran, bentuk, luas permukaan, distribusi dan orientasi serbuk pengisi. Menurut Rizkyta dkk (2013) Konduktivitas listrik bertambah seiring dengan bertambahnya grafit (karbon) dan konduktivitas listrik dapat dipengaruhi oleh penyebaran, orientasi dan jarak antar serbuk didalam matriks. Konduktivitas listrik sangat berpengaruh terhadap resistivitas material.

Adapun Resistivitas (tahanan jenis) material merupakan sifat fisika yang menunjukkan kemampuan suatu material dalam menghambat arus listrik. Menurut Lowrie (2007), Harga resistivitas (tahanan jenis) setiap batuan berbeda-beda tergantung jenis materialnya, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori-pori batuan, cairan elekrolit serta kandungan air yang terdapat dalam pori batuan dan suhu. Aliran arus pada setiap lapisan batuan sangat bergantung kepada cairan elektrolitik yang terdapat dalam pori-pori batuan tersebut. Resistivitas (tahanan jenis) dari batuan sangat dipengaruhi oleh kehadiran air tanah yang bertindak sebagai elektrolit, terutama pada sedimen berpori dan batuan sedimen. Batuan-batuan yang jenuh air mempunyai tahanan jenis lebih rendah dibandingkan dengan batuan kering.

Aliran arus pada sebuah medium dapat dijelaskan menggunakan Hukum Ohm, dimana hubungan antara rapat arus *J* dengan kuat medan listrik *E* dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$J = \sigma E \tag{1}$$

Dimana σ yaitu konduktivitas listrik (daya hantar listrik). Jika besar kuat medan listrik, $E = \frac{V}{L}$, maka diperoleh $J = \sigma \frac{V}{L}$, sehingga kuat arus dapat ditulis seperti Persamaan (2).

$$I = JA = \sigma \frac{A}{L} V \tag{2}$$

Persamaan (2) memperlihatkan bahwa saat konduktivitas listrik (daya hantar listrik) σ konstan, arus total *I* sebanding dengan beda potensial *V*. Resistansi diperoleh dengan membandingkan antara *V* dengan *I* pada konduktor seperti Persamaan (3).

$$R = \frac{V}{I} \tag{3}$$

Hubungan resistansi *R* dengan resistivitas ρ pada suatu logam konduktor dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (4).

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{4}$$

Sementara, hubungan antara resistivitas listrik ρ dengan resistansi *R* dinyatakan dalam Persamaan (5):

$$\rho = \frac{RA}{L} \tag{5}$$

Hubungan konduktivitas listrik σ $(\Omega m)^{-1}$ berbanding terbalik dengan resistivitas ρ (Ωm) sesuai dengan Persamaan (6):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{6}$$

Dari Persamaan (5) dan Persamaan (6), diperoleh konduktivitas listrik

$$\sigma = \frac{L}{RA} \tag{7}$$

Hubungan resistivitas dengan kuat arus didapatkan dengan mensubstitusikan Persamaan (3) ke Persamaan (4) yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{V}{I} = \rho \frac{L}{A} \tag{8}$$

Persamaan (8) memperlihatkan hubungan resistivitas dengan kuat arus. Berdasarkan persamaan tersebut terlihat bahwa aliran arus listrik pada suatu bahan tergantung pada resistivitas suatu material tersebut. Semakin besar resistivitas suatu bahan, maka arus listrik akan semakin sulit mengalir. Sebaliknya, semakin kecil nilai resistivitas suatu bahan, maka arus listrik semakin mudah untuk mengalir. Hal ini juga sesuai dengan prinsip konduktivitas listrik suatu bahan, dimana bahan yang memiliki resistivitas besar akan memiliki nilai konduktivitas listrik yang kecil, dan sebaliknya semakin kecil nilai resistivitas suatu bahan maka konduktivitas listriknya akan semakin besar. Resistivitas setiap batuan berbeda-beda, contoh batuan yang digunakan dalam campuran beton yaitu *graphite* dan *sandstone*. Tabel 9 menunjukkan resistivitas batuan beku dan batuan metamorf, sedangkan Tabel 10 menunjukkan resistivitas batuan sedimen.

Tabel 9. Resistivitas Jenis Batuan Beku dan Batuan Metamorf

Batuan	Resistivitas (Ωm)
Graphite	$10 - 10^2$
Granite	$3x10^2 - 10^6$
Granite porphyry	$4{,}5x10^3$ (basah) - $1{,}3x10^6$ (kering)
Feldspar porphyry	$4x10^3$ (basah)
Albite	$3x10^2$ (basah) - $3{,}3x10^3$(kering)
Syenite	$10^2 - 10^6$
Diorite	$10^4 - 10^5$
Diorite porphyry	$1{,}9x10^3$ (basah) - $2{,}8x10^4$ (kering)
Porphyrite	$10 - 5x10^4$ (basah) - $3{,}3x10^3$ (kering)
Carbonatized porphyry	$2{,}5x10^3$ (basah) - $6x10^4$ (kering)
Quartz porphyry	$3x10^2 - 3x10^5$
Quartz diorite	$2x10^4 - 2x10^6$ (basah) - $1{,}8x10^5$ (kering)
Porphyry (various)	$60x10^4$
Lavas	$2x10^4$ (basah)
Gabbro	$4{,}5x10^4$ (basah) - $1{,}7x10^2$ (kering)
Basalt	$10 - 1{,}3x10^7$ (kering)
Olivine norite	$10^3 - 6x10^4$ (basah)
Peridotite	$3x10^3$ (basah) - $6{,}5x10^3$ (kering)
Hornfels	$8x10^3$ (basah) - $6x10^7$ (kering)
Schists	$20 - 10^4$
Tuffs	$2x10^3$ (basah) - 10^5 (kering)
Slates (various)	$6x10^2 - 4x10^7$
Gneiss (various)	$6{,}8x10^4$ (basah) - $3x10^6$ (kering)
Marmer	$10^2 - 2{,}5x10^8$ (kering)
Skarn	$2{,}5x10^2$ (basah) - $2{,}5x10^8$ (kering)
Quartzites (various)	$10 - 2x10^8$

(Sumber: Telford dkk, 1990:290)

Tabel 10. Resistivitas batuan sedimen

Batuan	Resistivitas (Ωm)
Consolidated shales	$20 - 2x10^3$
Argillites	$10 - 8x10^2$
Conglomerates	$2x10^3 - 10^4$
Sandstone	$1 - 6{,}4x10^8$
Limestones	$50 - 10^7$
Dolomite	$3{,}5x10^2 - 5x10^3$
Unconsolidated wet clay	20
Marls	3 - 70
Clays	1 – 100
Alluvium and sands	10 – 800
Oil sands	4 – 800

(Sumber: Telford dkk, 1990:290)

Berdasarkan Tabel 9 dan 10 diketahui bahwa kelompok batuan sedimen memiliki resistivitas paling rendah bila dibandingkan dengan kelompok

batuan beku dan batuan metamorf. Artinya, arus listrik akan lebih mudah mengalir pada batuan sedimen dibandingkan dengan batuan lainnya.

F. Konduktivitas Listrik Beton

Konduksi listrik melalui beton terjadi dalam dua cara yaitu: secara konduksi elektronik dan secara konduksi elektrolit. Konduksi elektronik terjadi melalui gerakan dari elektron bebas di media konduktif, sedangkan konduksi elektrolit berlangsung dengan gerakan ion di pori. Whittington dkk (1981), menyelidiki konduksi listrik melalui beton konvensional menggunakan pasta semen dan beton. Resistivitas listrik yang ditemukan meningkat karena konduksi di sampel bergantung pada gerak ion-ion dalam pori. Selain itu, resistivitas listrik beton lebih tinggi dari pada pasta semen, karena gerakan ion terbatas dari agregat non-konduktif yang digunakan dalam sampel beton.

Menurut Xie dkk (1996), Konduksi melalui beton yang mengeras tergantung pada pergerakan elektron yang memerlukan kontak baik antara partikel konduktifnya. Untuk meningkatkan konduktivitas listrik dari campuran beton yaitu:

1) Digunakan agregat konduktif seperti bijih besi dan *raw slag*.
2) Meningkatkan konduktivitas pasta semen dengan menambahkan bahan/material konduktif seperti serat baja dan serat karbon.

Beton konduktif dapat didefinisikan sebagai semen berbasis komposit yang berisi beberapa jumlah material konduktif untuk mencapai konduktivitas

listrik yang stabil dan relatif tinggi. Beberapa aplikasi untuk beton konduktif yaitu:

1) Sebagai perisai elektromagnetik.
2) Dibutuhkan dalam desain dan peralatan untuk melindungi sistem listrik atau komponen elektronik.
3) Sebagai perisai radiasi di industri nuklir.
4) Lantai anti-statis di industri elektronik instrumentasi dan rumah sakit.
5) Proteksi katodik baja tulangan dalam struktur beton.

Menurut Xie dkk (1995), Beton konduktif digolongkan menjadi dua jenis yaitu:

1) Serat konduktif memperkuat beton.

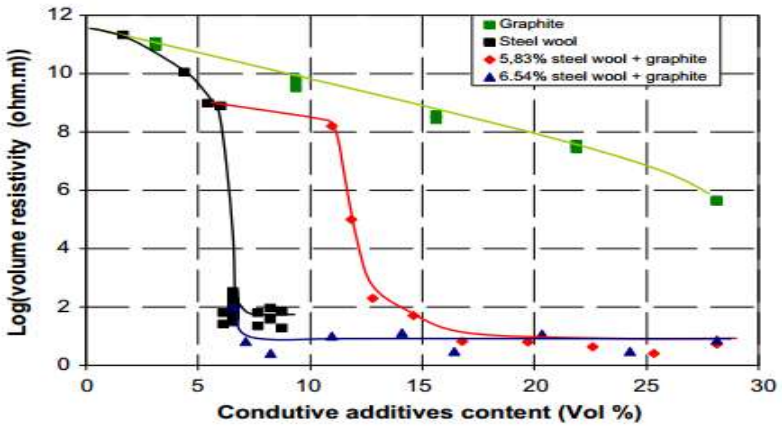
Kekuatan mekaniknya yang tinggi tetapi lebih rendah konduktivitas dengan nilai resistivitas sekitar 100 Ω.cm. Alasan konduktifitasnya rendah karena untuk daerah kontak serat ke seratnya yang kecil.

2) Beton yang mengandung agregat konduktif.

Daya hantar beton yang mengandung agregat konduktifnya lebih tinggi dengan nilai resistivitas 10-30 Ω.cm, tetapi kekuatan tekannya relatif rendah (kurang dari 25 MPa). Kekuatan mekanik yang relatif rendah disebabkan oleh banyaknya air yang diperlukan selama pencampuran beton untuk mengimbangi penyerapan air oleh agregat konduktif, seperti karbon hitam dan coke.

Pada tahun 1978, Farrar meneliti tentang beton konduktif dengan menggunakan "Marconite", sebuah produk sampingan karbon dari

penyulingan minyak, untuk menggantikan pasir dalam campuran beton konduktif. Resistivitas listrik beton konduktif menggunakan Marconite berkisar antara 0,5-15 Ω.cm. Penggunaan Marconite terbatas pada aplikasi skala kecil seperti perisai elektromagnetik dan lantai anti-statis karena biayanya yang terlalu mahal (Farrar, 1978). Menurut Garcia dkk (2009), Dengan penambahan kandungan material konduktif dan serat pada aspal beton akan menurunkan resistivitas listrik . Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan partikel konduktif terhadap resistivitas aspal beton (Garcia dkk, 2009)

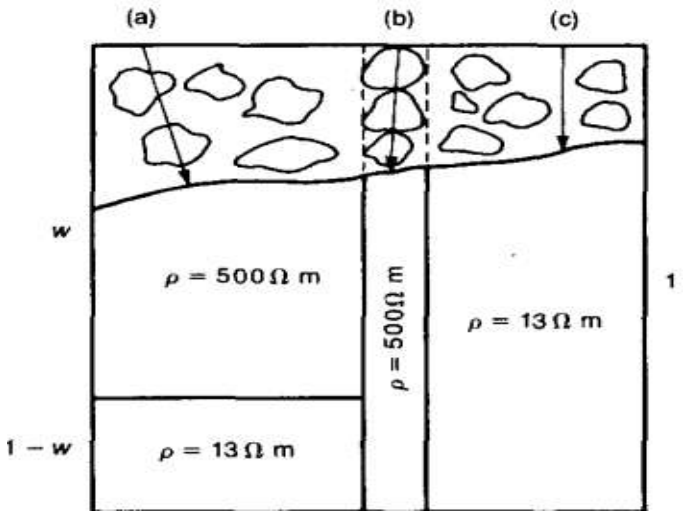
Resistivitas listrik pasta semen Portland dan beton telah menjadi subjek penyelidikan oleh beberapa peneliti, yang menyimpulkan bahwa resistivitas beton tersebut terletak di wilayah 6.54-11.4 kΩ.m, oleh karena itu materialnya merupakan isolator yang sangat baik (Whittington, 1981). Henry (1964), menemukan bahwa resistivitas listrik beton meningkat terhadap waktu dan menurun dengan peningkatan dalam salinitas pencampuran air. Menurut Osweiler dkk (2013) menyatakan bahwa umur beton berpengaruh terhadap resistivitas listrik yang disebabkan oleh efek hidrasi beton. Semakin lama

umur beton maka resistivitas listrik yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10.

Gambar 10. Umur beton terhadap resistivitas listrik (Osweiler dkk, 2013)

Menurut Whittington dkk (1981), Sifat listrik melalui beton itu sendiri adalah bahan/materialnya yang bersifat heterogen dan Perbedaannya terjadi selama menempatkan. Whittington dkk (1981), mengemukakan sebuah model konduksi listrik untuk beton. Ada tiga jalur arus listrik melalui beton yaitu:

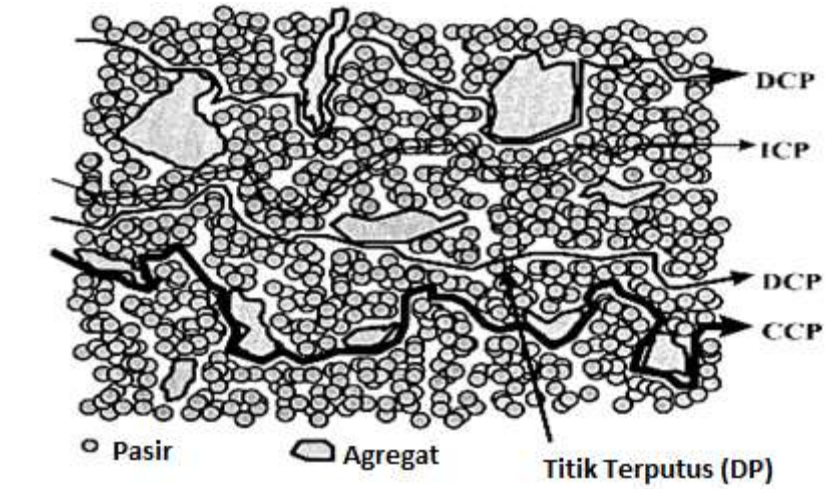
a) Melalui agregat dan pasta
b) Melalui agregat yang berhubungan dengan satu sama lain
c) Melalui pasta itu sendiri.



Gambar 11. Model konduksi beton (Whittington, 1981)

Model sederhana konduksi arus DC melalui beton ditunjukkan pada Gambar 11, dimana penampang elemen (a) sebagai ukuran jalur melalui agregat dan pasta, (b) sebagai ukuran jalur melalui agregat, (c) sebagai ukuran dari jalur interstisial yang terus-menerus dan dimana w adalah bagian yang bergerak melalui agregat dan pasta.

Resistansi dari setiap sirkuit dan model resistansi total dapat ditentukan dengan menetapkan nilai penampang elemen w, a, b dan c. Bagian sebelumnya dijelaskan ada tiga jalur konduksi melalui beton dan dari model konduksi yang disederhanakan, menunjukkan bahwa persentase yang tinggi dari arus listrik dilakukan melalui pasta. Bentuk mikrostruktur beton dapat dilihat pada Gambar 12.



CCP(Jalur konduktif yang kontinu**)**

DCP(Jalur konduktif yang terputus)

ICP(Jalur Isolator)

Gambar 12. Bentuk Mikrostruktur Beton (Song, 2000)

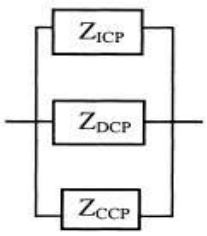
Prinsip mikrostruktur beton diilustrasikan pada Gambar 12 ada tiga jenis jalur dalam struktur beton: (1) jalur konduktif yang kontinu (CCP),

(2) jalur konduktif yang terputus-putus (DCP), (3) jalur konduktif isolator (ICP). Pori dalam ukuran mikro yang terputus dalam beton membentuk DCP (*Discontinuous Conductive Paths*), yang kontinuitasnya terhambat oleh lapisan pasta semen juga dilambangkan sebagai titik yang terputus DP (*Discontinuous Paths*). Pori-pori yang terputus dapat juga tersambung ke pori-pori yang kontinu sampai berakhir. Selain DCP (*Discontinuous Conductive Paths*) dan CCP (*Continuous Conductive Paths*), matriks beton yang terdiri dari partikel pasta semen bertindak sebagai jalur isolator ICP (*Insulator Conductive Paths*) dalam beton.

Konduktifitas beton dinyatakan dalam impedansi dari tiga jenis jalur konduktif, dimana impedansi ini adalah ukuran sejauh mana rangkaian menghambat aliran listrik, sehingga dapat dijadikan ke dalam sebuah rangkaian seperti ditunjukkan pada Gambar 11, dan total impedansi (Z) dari beton dinyatakan dalam Persamaan (9).

$$Z = 1/(1/Z_{CCP} + 1/Z_{DCP} + 1/Z_{ICP}) \quad (9)$$

Total impedansi dari semua CP (*Conductive Paths*), yang terdapat pada Gambar 12 dijadikan ke sebuah model rangkaian yang dapat dilihat pada Gambar 13.

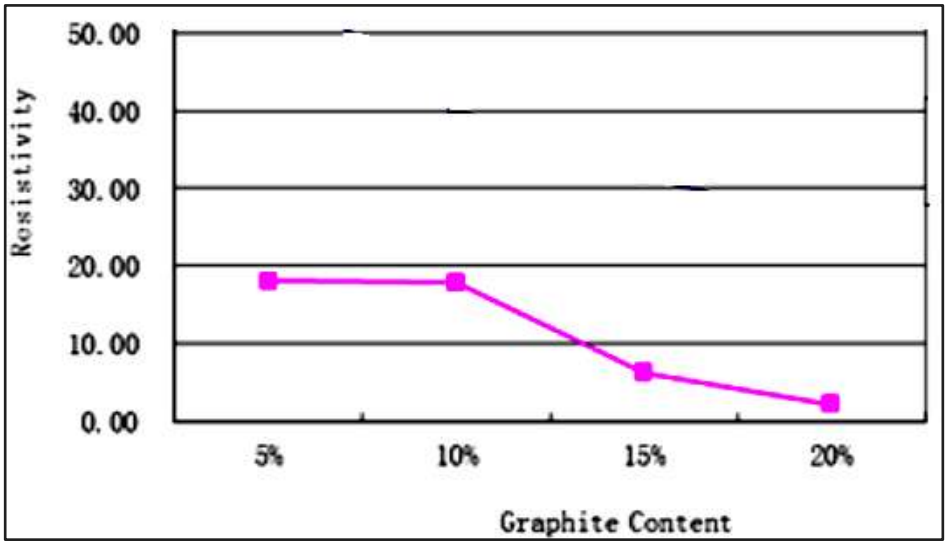


Keterangan:
$Z_{ICP:}$ Impedansi jalur konduktif isolator
$Z_{DCP:}$ Impedansi jalur konduktif yang terputus
$Z_{CCP:}$ Impedansi jalur konduktif yang terus-menerus

Gambar 13. Model Konduksi Listrik Beton (Song, 2000)

G. Pengaruh Penambahan Grafit Terhadap Konduktivitas Listrik Beton

Menurut Tian (2012) dengan penambahan kandungan grafit (karbon) dalam campuran beton dan kehalusan grafit semakin tinggi sebesar 500 mesh maka dapat menurunkan resistivitas listrik beton. Sehingga dengan menurunnya resistivitas listrik maka konduktivitas listrik yang dihasilkan akan semakin meningkat dengan bertambahnya grafit mencapai 20%. Dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Pengaruh Kandungan Grafit Terhadap Resistivitas Beton

Menurut Zoufu (2007) Campuran beton yang mengandung 0,58% serat karbon dan 20% serat baja menunjukkan konduktivitas listrik yang baik. Selanjutnya, meningkatnya persentase air yang digunakan untuk mencampurkan serat karbon dengan material lain dapat meningkatkan dispersi dari serat karbon, sehingga meningkatkan konduktivitas listrik dari beton tersebut.

Pengaruh penambahan grafit pada konduktivitas listrik aspal beton, dimana sebuah perubahan mendadak dalam tahanan listrik dari tidak ada konduksi ke konduksi yaitu disebut perkolasi threshold, yang diamati pada sampel yang mengandung serat baja. Serat baja ini membentuk jalur konduktif, yang berperilaku seperti switch/penganti. Resistivitas listrik cukup rendah dapat diperoleh dengan mengganti bagian dari pengisi dengan serbuk grafit dalam campuran aspal beton. Penurunan bertahap dalam tahanan listrik beton aspal konduktif dapat digunakan untuk berbagai aplikasi multifungsi (Park, 2014).

BAB V
PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi penambahan serbuk grafit dalam pasir berpengaruh terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350. Semakin banyak penambahan serbuk grafit maka konduktivitas listrik dalam volume beton akan semakin meningkat sampai pada variasi penambahan serbuk grafit 20%.
2. Pengaruh Umur beton terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 yaitu semakin bertambahnya umur beton maka konduktivitas listrik dalam volume beton semakin menurun. Hal Ini disebabkan karena terjadinya konduksi elektronik dan konduksi elektrolit dalam volume beton.

B. Saran

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik di masa yang akan datang sebaiknya dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Untuk penelitian berikutnya diharapkan dapat melanjutkannya dengan menguji konduktivitas listrik di permukaan beton K-350, kuat tekan, kuat lentur dan porositas.
2. Untuk penelitian berikutnya diharapkan juga mengunakan semen tipe lainnya yaitu semen tipe 1 atau OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan PPC (*Portland Pozzolan Cement*).

DAFTAR PUSTAKA

Abdulah, Dendi. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Indonesia-Mekanikal.

Andrio. 2010. *Perbedaan Intan dan Grafit*. Manado: UNIMED.

Anggara, Frans. 2008. *Pengaruh waktu-literatur*. Jakarta: FT UI

Bibit, Supardi. 2004. *Fisika Modern Astronomi*. Jakarta: Erlangga.

Companion, A. L.1991. *Ikatan Kimia*. Bandung: ITB.

Departemen Pekerjaan Umum. 1990. *SKSNI T-15-1990-03 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung: Yayasan LPMB.

Departemen Pekerjaan Umum. 1994. *Perencanaan Campuran dan Pengendalian Mutu Beton*. Jakarta: Departemen PU.

Departemen PU Indonesia. 2007. *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton (SNI DT-91-0008-2007)*. Indonesia: Departemen PU.

Farto, Hutasoit. 2011. *Pembuatan dan Karakteristik batako ringan dengan memanfaatkan limbah padat pulp biosludge*. PT. TPL Porsea: Medan.

Farrar, J. 1978. *Electrically Conductive Concrete*. GEC Journal of Science and Technology Vol. 45, No. 1, pp. 45-48.

Garcia, Schlangen and Martin, Liu. 2009. *Electrical Conductivity of Asphalt Mortar Containing Conductive Fibers and Fillers*. Netherlands: Delfi University of Technology.

Henry, R. L. 1964. *Water vapor transmission and the electrical resistivity of concrete*. Port Hueneme, US. Naval Civil Engineering Laboratory, Technical Report R314.

Irzaman, Erviansyah dan Syafutra, Maddu, Siswadi. 2010. *Studi Konduktivitas Listrik Film Tipis* $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$ *Yang Didadah Ferium Oksida* (BFST) *Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition* (*CSD*). Bogor: IPB

Iskandar, Saepuloh, Prasetya dan Nindry, Taniguchi. 2012. *Pembuatan dan karakteristik Bahan Organik Superkonduktor* β*-(BEDT-TTF)*$_2I_3$ *dan* β*'-(BEDT-TTF)*$_2ICl_2$. Jatinangor: Universitas Padjajaran.

Lestari, Sri. 2004. *Mengurai Susunan Periodik Unsur Kimia*. Jakarta: Kawan Pustaka.

Lowrie, William. 2007. *Fundamental Of Geophysics, Second Edition*. Newyork: Cmbridge University Press.

Maghrifandi, Ardhyananta. 2012. *Pengaruh Penambahan Grafit Terhadap Kekuatan Tarik, Konduktivitas Listrik dan Stabilitas Termal Pada Komposit Polidimetilsiloksan/Grafit*. Surabaya: ITS.

Mulyono, Tri. MT. 2004. *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Andi.

Murdock, Brook. 2003. *Bahan dan Praktek Beton terjemahan oleh Stephanus Hendarko, Edisi keempat*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Nawy, Edward G. 1996. *Prestressed Concrete: A Fundamental Approach Second Edition.* New Jersey: Prentice-Hall, Inc,

Ogunsola, Reggiani, Sandrolini. 2009. *Shielding Properties of Conductive Concrete Against Transient Electromagnetic Disturbances*. Italy: University of Bologna.

Osweiler, Heymsfield and Selvam, Kuss. 2013. *Feasibility Of Anti-Icing Airfield Pavements Using Conductive Concrete And Renewable Solar Energy*. Washington: University of Arkansas

Paul, Antoni, Nugraha. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.

Park, Rew, Baranikumar. 2014. *Controlling Conductivity Of Asphalt Concrete With Graphite*. Texas: University Transportation Center.

Rand, Briand. 2009. *Graphite Structure, properties and manufacture*. AS: University of Pretoria.

Rizkyta, Ardhyananta. 2013. *Pengaruh Penambahan Karbon Terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon/Epoksi Sebagai Pelat Bipolar Polimer Elektrolit Membran Sel Bahan Bakar (Polymer Exchange Membran (PEMFC))* Vol. 2, No. 1, ISSN: 2337-3539. Surabaya: ITS

Segel. 1997. *Introduction to Technology Building*. USA: Jon Willey and Sons.

Shaopeng, Mo and Shui, Chen. 2005. *Investigation of the Conductivity of Asphalt Concrete Containing Conductive Fillers*. Cina: Wuhan University of Technology.

Standar Nasional Indonesia 03-2847. 2002. *Tata Cara Perencanaan Sruktur Beton Untuk Bangunan Gedung.*

Standar Nasional Indonesia 15-2049-2004. *Semen Portland.*

Standar Nasional Indonesia 15-7064-2004. *Semen Portland Komposit*

Standar Nasional Indonesia 1969:2008. *Pemeriksaan Berat Jenis dan Absorpsi.*

Standar Nasional Indonesia 1971:2011. *Pemeriksaan Kadar Air*.

Standar Nasional Indonesia 03-4804-1998. *Pemeriksaan Berat Volume*.

Standar Nasional Indonesia 03-4142-1996.*Pemeriksaaan Kadar Lumpur*.

Song, Guangling. 2000. *Equivalent circuit model for AC electrochemical impedance spectroscopy of concrete*. Australia: University of Queensland.

Tjokrodimulyo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM.

Telford, W. M. Geldart, Sheriff. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. USA: Cambridge University Press

Tian, Hu, Chen. 2012. *An Environment-Friendly Conductive Concrete*. CINA: Yunnan Agricultural University.

Tian, Hu. 2012. *Test and Study on Electrical Property of Conductive Concrete*. CINA: Yunnan Agricultural University.

Vlack, Lawrence H van. 2004. *Elemen-elemen dan Rekayasa Material Edisi ke-6*. Erlangga: Jakarta.

Wanibesak. 2011. *Alotrop Karbon Intan, Grafit, dan Fullerene*. http://wanibesak.wordpress.com/2011/02/28/alotrop-karbon-intan-grafit-dan-fullerene/. Di akses tanggal 9 Maret 2015

Wen, Chung DDL. 2006. *The Role of Electronic and Ionic Conduction in the Electrical Conductivity of Carbon Fiber Reinforced Cement*. Carbon 44:2130–2138

Wenner, F. 1915. *A method of measuring earth resistivity*. Bull Bur Stand 12:469–478

Whittington, Carter and Forde. 1981. *The Conduction Of Electricity Through Concrete*. USA: University of Edinburgh.

Xie, Gu and Fu, Beaudoin. 1995. *Conductive Concrete Cement-Based Compositions*. U.S. Patent 5,447,564,10pp

Xie, Gu, Beaudoin. 1996. *Electrical percolation phenomena in cement composites containing conductive fibers*. Journal of Materials Science, Vol. 31, Issue No.15, pp. 4093-4097.

Yao, Wang. 2010. *Analysis of Resistance Characteristics of Conductive Concrete Using Press Electrode Method*. Cina: Chung Yuan Christian University.

Yehia, Sherif. 2008. *Conductive Concrete Overlay for Bridge Deck Deicing*. Cina: Western Micrigan University.

Yunanda, Rezko. 2014. *Penggunaan Pasir Kuarsa Sebagai Bahan Pengganti Semen Tipe I Pada Disain Beton K-250 Dan* K-300. Padang: Universitas Bung Hatta.

Yunasfi, Purwanto dan Madesa. 2010. *Karakterisasi Sifat Listrik Grafit Setelah Iradiasi dengan Sinar-γ*. Tangerang: BATAN.

Young, Hugh D dan Freedman, Roger A. 2003. *Fisika Universitas Edisi Jilid II*. Jakarta: Erlangga.

Zuofu, Zhuoqiu, Jianjun. 2007. *Electrical Conductivity of the Carbon Fiber Conductive Concrete*. Cina: Yangtze University.

Zuofu, Zhuoqiu, Jianjun. 2010. *Electrically Conductive Concrete for Heating Using Steel Bars as Electrodes*. Cina: Wuhan University of Technology.