

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

Fitri Anika¹⁾, Djusmaini Djamal²⁾ dan Ramli²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP

email: fitri.anika01@gmail.com

ABSTRACT

Concrete conductive using graphite powder as a conductive material has not been optimized in their use of construction materials. Therefore, be used graphite powder as an ingredient added in the sand for the manufacture of concrete that is conductive. So with the addition of graphite powder in the sand is expected to produce electrical conductivity in the concrete. This is caused by the addition of carbon (C) contained in graphite powder is able to conduct electricity through the cement paste and aggregate, thus increasing the electrical conductivity of concrete. Has been testing an electric conductivity in volume of concrete K-350 with the addition of graphite powder variation of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% using the test method Four-Point Probe. Results of testing the value of the electrical conductivity in the volume of concrete for each successive age the age of 7 days is $0.0229 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0286 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0306 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0358 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0374 (\Omega \cdot m)^{-1}$. At the age of 14 days in a row is $0.0132 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0177 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0207 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0250 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0291 (\Omega \cdot m)^{-1}$. At the age of 21 days in a row is $0.0099 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0135 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0155 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0164 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0204 (\Omega \cdot m)^{-1}$. At the age of 28 days in a row is $0.0074 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0101 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0111 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0121 (\Omega \cdot m)^{-1}$, $0.0152 (\Omega \cdot m)^{-1}$. From this study it can be concluded that the addition of graphite powder variations can increase the value of the electrical conductivity in the volume of concrete K-350, but declined against the concrete. This is caused by the influence of water content owned concrete.

Keywords : Concrete, Concrete K-350, Electrical Conductivity, Graphite Powder, Sandstone

PENDAHULUAN

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.

Beton 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^[1].

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. 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^[2].

Oleh sebab itu, penelitian ini menggunakan serbuk grafit sebagai bahan tambahan pada pasir untuk membuat beton yang bersifat konduktif. 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^[3].

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.	[4]
2	Conductive concrete overlay for bridge deck deicing.	[5]
3	Shielding properties of conductive concrete against transient electromagnetic disturbances.	[6]
4	Electrically Conductive Concrete for Heating Using Steel Bars as Electrodes.	[7]
5	Analysis of Resistance Characteristics of Conductive Concrete Using Press-Electrode Method.	[8]
6	An Environment-Friendly Conductive Concrete.	[9]

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. 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.

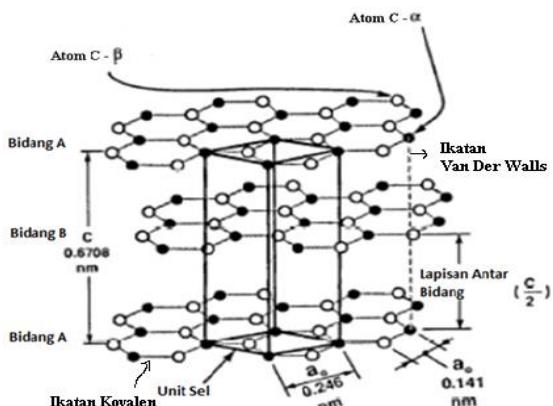
Penggunaan serbuk grafit harus sesuai dengan persentase tertentu terhadap berat total agregat halus (pasir). Fungsi dari pemakaian serbuk grafit yaitu sebagai bahan tambahan dalam pasir pada campuran beton, karena serbuk grafit ini ukurannya sama dengan pasir. Penambahan serbuk grafit ini diharapkan 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 konduktivitas listrik aspal mortar yang mengandung serat baja dan grafit menunjukkan bahwa resistivitas beton yang dihasilkan dari grafit sebesar $750\Omega \cdot m$ dan $89,12\Omega \cdot m^{[10]}$. Hal ini disebabkan karena meningkatnya kandungan serat baja dan grafit dalam campuran aspal mortar, sehingga terjadi penurunan resistivitas beton. Selain itu, penelitian konduktivitas aspal beton yang mengandung pengisi konduktif, menghasilkan resistivitas sebesar $3,7 \times 10^{11}\Omega \cdot m$ dan $1,4 \times 10^3\Omega \cdot m$, dengan peningkatan persentase penambahan grafit dari 8 % sampai 12,7 %^[11]. 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. Beton yang digunakan dalam penelitian ini mutu K-350 adalah beton dengan karakteristik yang mempunyai nilai kuat tekan sebesar $\pm 350 \text{ kg/cm}^2$ pada umur 28 hari. Beton ini termasuk golongan beton bermutu tinggi^[12].

Grafit menurut bahasa Yunani yaitu “graphein” yang artinya menulis. Pada tahun 1789 Abraham Gottlob Werner menamai *graphein* yaitu untuk menggambarkan 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 berikanan 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 1.



Gambar 1. Struktur Kristal Grafit^[13].

Struktur kristal grafit diilustrasikan pada Gambar 1, 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 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.

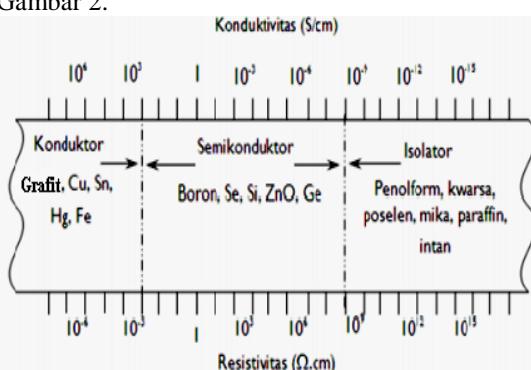
Grafit (C) memiliki ikatan kovalen dan ikatan Van der Waals seperti terlihat pada Gambar 1 dimana pada kristal grafit, ikatan kovalen terjadi antar atom-atom C pada lapisan tertentu, serta ikatan Van der walls terjadi antar lapisan^[16]. Ikatan kovalen merupakan ikatan yang terjadi karena pemakaian bersama beberapa pasangan elektron oleh atom-atom dengan valensi sama yang saling berikanan 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^[14].

Grafit merupakan penghantar listrik dan panas yang cukup baik tetapi bersifat rapuh^[15]. Sifat daya

hantar listrik material dinyatakan dengan konduktivitas, yaitu kebalikan dari resistivitas atau tahanan jenis penghantar.sifat kelistrikan batuan merupakan karakteristik dari batuan bila dialirkkan 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.

Kondisi elektronik terjadi jika batuan memiliki banyak elektron bebas, sehingga arus listrik mudah melalui batuan. Konduksi elektrolitik terjadi pada batuan yang bersifat poros 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^[16]. 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 2.



Gambar 2. Spektrum Konduktivitas Listrik dan Resistivitas^[17].

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. 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^[18]. 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^[19].

Adapun Resistivitas (tahanan jenis) material merupakan sifat fisika yang menunjukkan kemampuan suatu material dalam menghambat arus listrik. Harga resistivitas (tahanan jenis) setiap batuan berbeda-beda tergantung jenis materialnya, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori-pori batuan, cairan elektrolit 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.

Aliran arus pada sebuah medium dapat dijelaskan menggunakan Hukum Ohm, dimana hubungan antara rata-rata arus J dengan kuat medan listrik E dinyatakan dalam Persamaan (1)^[20].

$$J = \sigma E \quad (1)$$

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 dituliskan seperti Persamaan (2).

$$I = JA = \sigma \frac{A}{L} V \quad (2)$$

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).

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

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

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (4)$$

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

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (5)$$

Hubungan konduktivitas listrik σ ($\Omega \cdot \text{m}$)⁻¹ berbanding terbalik dengan resistivitas ρ ($\Omega \cdot \text{m}$) sesuai dengan Persamaan (6):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (6)$$

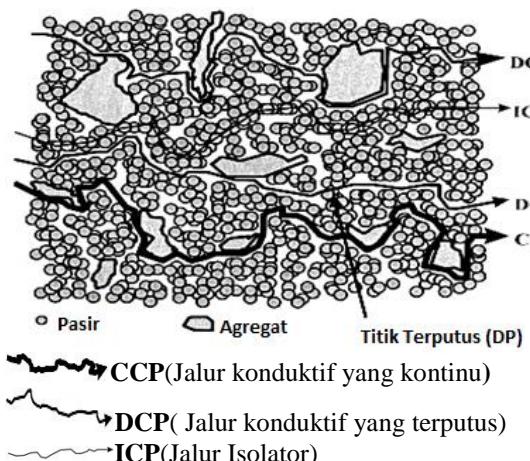
Dari Persamaan (5) dan Persamaan (6), diperoleh konduktivitas listrik.

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (7)$$

Sifat listrik melalui beton itu sendiri adalah bahan/materialnya yang bersifat heterogen dan Perbedaannya terjadi selama menempatkan. 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.

Persentase yang tinggi dari arus listrik dilakukan melalui pasta itu sendiri. Bentuk mikrostruktur beton dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk Mikrostruktur Beton [21].

Prinsip mikrostruktur beton diilustrasikan pada Gambar 3 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 pasir bertindak sebagai jalur isolator ICP (*Insulator Conductive Paths*) dalam beton^[22].

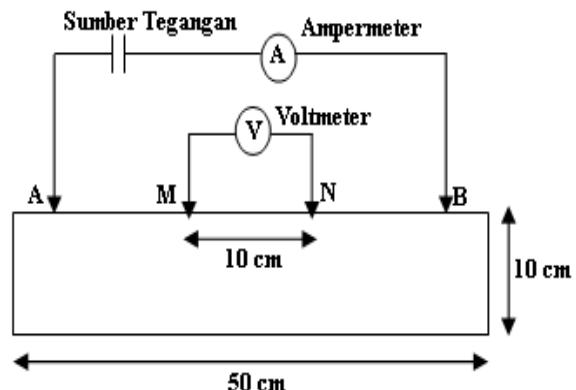
METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Aplikasi Semen dan Beton Biro Jaminan Kualitas PT Semen Padang, dimana dilakukan variasi penambahan serbuk grafit kedalam pasir pada pembuatan beton. Variasi penambahan serbuk

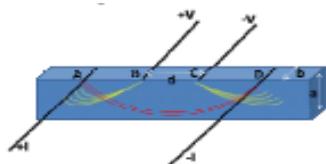
grafitnya yaitu 5%, 10%, 15%, dan 20%. Selanjutnya dilakukan uji konduktivitas listrik dari beton K-350.

Dalam penelitian ini terdiri dari 3 variabel yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Pada penelitian ini variabel bebasnya adalah variasi persentase serbuk grafit 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat pasir. Variabel terikatnya yaitu nilai konduktivitas listrik beton K-350 dan variabel kontrol yaitu jenis semen, pasir, batu pecah (5 mm – 10 mm dan 10 mm - 20 mm), volume beton dan air yang komposisinya sama serta lama pengadukan.

Metoda yang digunakan untuk pengukuran konduktivitas listrik beton K-350 yaitu menggunakan metode *Four-Point Probe* (probe empat titik), dimaksud dengan probe empat titik yaitu, ada empat titik kontak yang ditancapkan ke dalam volume beton. Keempat titik kontak (probe) dibuat berderet dalam satu garis. Dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut ini.



Gambar 4. Metode *Four-Point Probe*



Gambar 5. Bentuk pengukuran Metode *Four-Point Probe* [23].

Pada Gambar 4 terlihat bahwa arus yang akan diberikan mengalir pada dua *probe* (titik A dan D) pada ujung sisi balok yang berukuran 50 x 10 x 10 cm. Sehingga dua *probe* yang berada ditengah sebagai pengukur tegangan (beda potensial) antara titik B dan C yang berjarak 10 cm dari panjang beton yang ditancapkan dua kawat tembaga didalamnya, dapat ditunjukkan pada Gambar 5.

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan teknik pengumpulan data langsung dan pengumpulan data tidak langsung. Data yang diperoleh secara langsung adalah nilai kuat arus (I) dan nilai beda potensial (V) yang diperoleh dengan metode *four-point probe* menggunakan multimeter dan *power supply*. Sedangkan data yang diperoleh secara tidak

langsung adalah nilai resistansi (R) dan nilai konduktivitas listrik beton (σ).

Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengetahui bagaimana pengaruh yang diterima bahan terhadap perlakuan yang diberikan. Analisa data konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan Persamaan (3) dan Persamaan (7). Data konduktivitas listrik yang diperoleh kemudian di plot ke dalam bentuk grafik. Analisa data dilakukan dengan membuat deskripsi data, dari deskripsi data dapat dibuat tabel nilai konduktivitas listrik. Dari tabel tersebut dapat dibuat grafik hubungan presentasi penambahan serbuk grafit dalam pasir terhadap konduktivitas listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

Data Arus Listrik Rata-rata dan Tegangan Listrik Rata-rata Beton K-350

Deskripsi data pengukuran arus listrik rata-rata dan tegangan listrik rata-rata beton K-350 untuk berbagai variasi penambahan serbuk grafit dalam pasir diperlihatkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Deskripsi Arus Listrik Rata-rata dan Tegangan Listrik Rata-rata dalam Volume Beton K-350 Umur 7 Hari, 14 Hari, 21 Hari dan 28 Hari.

Serbu k Grafit (%)	Arus Listrik Rata-rata (A)	Tegangan Rata-rata (Volt)/Umur			
		7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
0	0,01375	6,032	10,503	14,290	18,898
5	0,01375	4,835	7,916	10,494	14,037
10	0,01375	4,493	6,719	9,073	12,617
15	0,01375	3,780	5,827	8,642	11,712
20	0,01375	3,684	4,908	6,871	9,227

Dari Tabel 2 dapat dilihat dengan variasi penambahan serbuk grafit 0%, 5%, 15% dan 20%, dengan pemberian arus listrik rata-rata yang sama, sehingga diperoleh hasil tegangan listrik rata-rata yang berbeda. Perbedaan ini disebabkan karena perubahan dari perlakuan bahan yang diberikan dengan menggunakan beberapa persentase serbuk grafit yang sebagai bahan tambah ke dalam pasir. Sehingga tegangan listrik maksimum yang diperoleh dalam volume beton pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari yaitu 6,032 volt, 10,503 volt, 14,29 volt, 18,898 volt dan tegangan listrik minimumnya adalah 3,684 volt, 4,908 volt, 6,871 volt dan 9,227 volt. Semakin tinggi variasi serbuk grafit maka nilai tegangan listrik rata-rata yang didapatkan semakin menurun. Sedangkan nilai tegangan rata-rata terhadap umur beton semakin meningkat.

Data Resistansi Rata-rata Beton K-350

Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat dilakukan perhitungan resistansi menggunakan

Persamaan (3). Dapat dilihat resistansi rata-rata beton K-350 untuk berbagai variasi penambahan serbuk grafit dalam pasir diperlihatkan dalam Tabel 3.

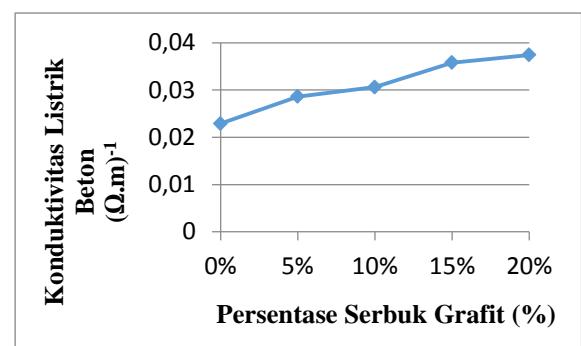
Tabel 3. Deskripsi Data Perhitungan Resistansi Rata-rata dalam Volume Beton K-350 Umur 7 Hari, 14 Hari, 21 Hari dan 28 Hari.

Serbuk Grafit (%)	Resistansi Rata-rata (Ω) /Umur			
	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
0	436,98	756,82	1014,36	1347,33
5	349,45	566,59	742,42	997,32
10	326,95	483,25	645,52	900,77
15	280,28	404,78	610,89	831,57
20	267,49	345,87	492,04	658,92

Dari Tabel 3 dapat dilihat dengan variasi penambahan serbuk grafit 0%, 5%, 15% dan 20%, nilai resistansi rata-rata maksimum yang didapatkan pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari yaitu 436,98 Ohm, 756,82 Ohm, 1014,36 Ohm, 1347,33 Ohm dan nilai resistansi rata-rata minimumnya adalah 267,49 Ohm, 345,87 Ohm, 492,04 Ohm, dan 658,92 Ohm. Semakin tinggi variasi serbuk grafit maka nilai resistansi rata-rata yang didapatkan semakin menurun. Sedangkan nilai resistansi rata-rata terhadap umur betonnya semakin meningkat.

Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350 Umur 7 Hari

Berdasarkan data pada Tabel 3 dengan menggunakan Persamaan (7) dilakukan perhitungan untuk setiap umur beton, sehingga diperoleh grafik konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 untuk berbagai variasi penambahan serbuk grafit umur 7 hari dapat dilihat pada Gambar 6.

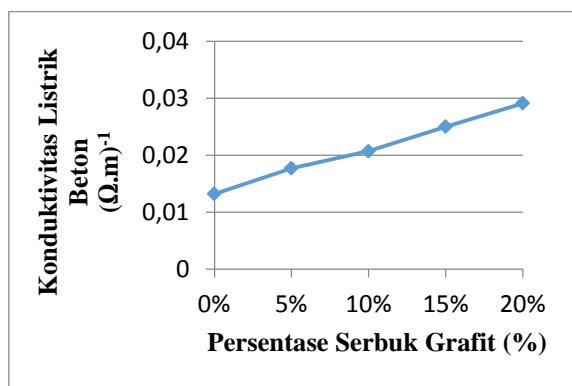


Gambar 6. Grafik Hubungan Persentase Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 7 Hari.

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa semakin tinggi persentase serbuk grafit maka nilai konduktivitas listrik beton K-350 semakin meningkat. Artinya penambahan serbuk grafit dalam pasir dapat meningkatkan konduktivitas listrik beton K-350. Bila Konduktivitas listrik meningkat berarti beton tersebut semakin baik dalam mengalirkan atau menghantarkan arus.

Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350 Umur 14 Hari

Pada Umur Beton 14 hari, hasil pengukuran yang terlihat pada grafik berikut.

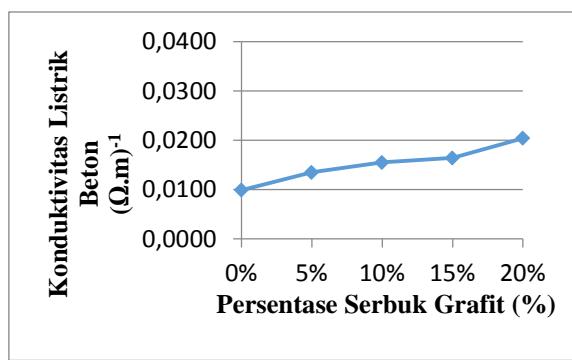


Gambar 7. Grafik Hubungan Persentase Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 14 Hari.

Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa semakin tinggi persentase serbuk grafit maka nilai konduktivitas listrik beton K-350 semakin meningkat. Artinya penambahan serbuk grafit dalam pasir dapat meningkatkan konduktivitas listrik beton K-350. Bila Konduktivitas listrik meningkat berarti beton tersebut semakin baik dalam mengalirkan atau menghantarkan arus.

Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350 Umur 21 Hari

Pada Umur Beton 21 hari, hasil pengukuran yang terlihat pada grafik berikut.



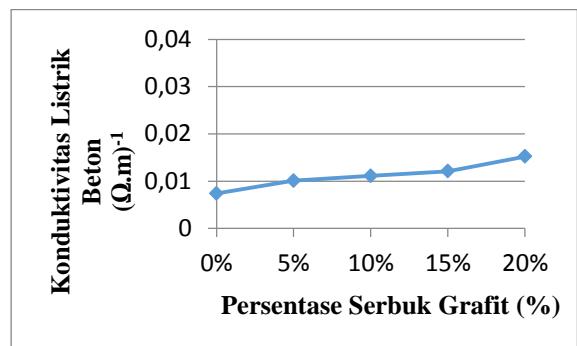
Gambar 8. Grafik Hubungan Persentase Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 21 Hari.

Berdasarkan Gambar 8 terlihat bahwa semakin tinggi persentase serbuk grafit maka nilai konduktivitas listrik beton K-350 semakin meningkat. Artinya penambahan serbuk grafit dalam pasir dapat meningkatkan konduktivitas listrik beton

K-350. Bila Konduktivitas listrik meningkat berarti beton tersebut semakin baik dalam mengalirkan atau menghantarkan arus.

Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350 Umur 28 Hari

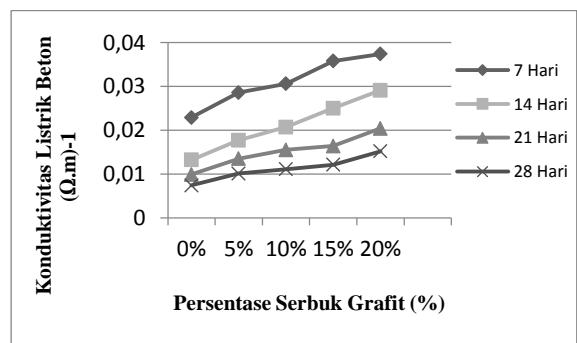
Pada Umur Beton 28 hari, hasil pengukuran yang terlihat pada grafik berikut.



Gambar 9. Grafik Hubungan Persentase Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350 Umur 28 Hari.

Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa semakin tinggi persentase serbuk grafit maka nilai konduktivitas listrik beton K-350 semakin meningkat. Artinya penambahan serbuk grafit dalam pasir dapat meningkatkan konduktivitas listrik beton K-350. Bila Konduktivitas listrik meningkat berarti beton tersebut semakin baik dalam mengalirkan atau menghantarkan arus.

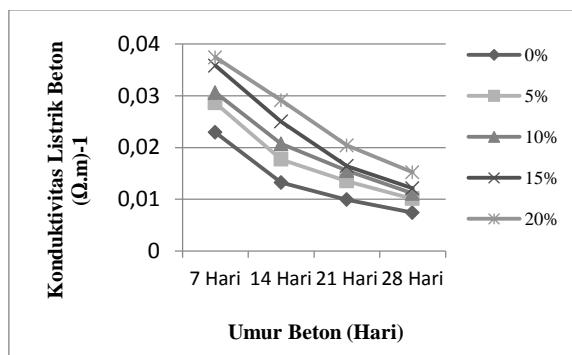
Dari hasil konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 yang telah didapatkan, maka dapat dilihat hubungan persentase penambahan serbuk grafit terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 dari masing-masing umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350.

Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa pada umur 7 hari konduktivitas listrik beton semakin meningkat, namun dengan bertambahnya umur beton selama 14 hari, 21 hari dan 28 hari nilai konduktivitas beton tetap meningkat, namun adanya penurunan konduktivitas listrik dari umur yang sebelumnya. Ini disebabkan karena sedikitnya kandungan air didalam volume beton, sehingga konduktivitas listrik beton menurun.

Dari Gambar 10 dapat dilihat hubungan umur beton terhadap konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hubungan Umur Beton Terhadap Konduktivitas Listrik Dalam Volume Beton K-350

Berdasarkan Gambar 11 terlihat bahwa semakin bertambah umur beton maka nilai konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 semakin menurun. Artinya semakin bertambah umur beton kandungan air didalam volume beton semakin berkurang, sehingga nilai konduktivitas listrik beton menurun.

2. Pembahasan

Interpretasi data menghasilkan nilai konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 terjadi peningkatan yang diiringi dengan bertambahnya persentase serbuk grafit, karena serbuk grafit ini memiliki ikatan elektron bebas pada strukturnya untuk menghantarkan elektron. Sehingga semakin tinggi persentase penambahan serbuk grafit maka jumlah ikatan elektron bebas dalam campuran beton akan semakin bertambah. Semakin bertambahnya jumlah ikatan elektron bebasnya maka nilai konduktivitas listrik beton akan meningkat. Pada penelitian ini dapat dilihat nilai konduktivitas listrik dalam volume beton K-350 tertinggi pada umur 28 hari adalah $0.0153 (\Omega \cdot m)^{-1}$ dengan persentase penambahan serbuk grafit 20%. Hal ini disebabkan karena serbuk grafit merupakan unsur karbon dimana setiap atom C memiliki 4 elektron valensi, dan untuk mencapai tingkat kestabilan atom maka masing-masing elektron valensi tersebut harus berpasangan dengan elektron dari luar. Tiga elektron digunakan untuk membentuk ikatan kovalen dengan atom C tetangga terdekatnya, sedangkan elektron yang keempat merupakan elektron yang bebas

bergerak melalui permukaan lapisan. Elektron bebas inilah yang menyebabkan material grafit bersifat konduktif atau mampu menghantarkan arus listrik. Nilai konduktivitas listrik ini juga 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. Dalam volume beton terdapat proses konduksi listrik yaitu melalui agregat dan pasta semen, agregat yang berhubungan dengan agregat lainnya, dan melalui pasta itu sendiri. Dari konduksi listrik beton pada setiap lapisan agregat dan pasta semen yang dilaluinya, sangat bergantung kepada cairan elektrolit yang terdapat dalam pori-pori agregat tersebut. Dimana cairan elektrolit ini akan mempengaruhi konduktivitas listrik dalam volume beton, karena ion-ion dari cairan elektrolit inilah yang dapat menghantarkan arus listrik. Pada struktur pembentuk beton yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus (pasir) dan pasta semen terdapat tiga jenis jalur dalam struktur beton yaitu jalur konduktif yang kontinu, jalur konduktif terputus dan jalur konduktif isolator. Dimana dari ketiga jalur konduktif ini yang dapat menghantarkan listrik secara sempurna adalah pada jalur konduktif yang kontinu, karena pada jalur konduktif kontinu tidak terhambat oleh agregat dan ion-ion cairan elektrolit ini bebas mengalir melalui larutan pori dalam volume beton. Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan dengan penambahan serbuk grafit dalam pasir dapat meningkatkan konduktivitas listrik dalam volume beton. Artinya semakin bertambah serbuk grafit maka konduktivitas listrik dalam volume beton semakin meningkat seperti yang ditampilkan pada Gambar 10. Konduktivitas listrik ini dapat dipengaruhi oleh penyebaran, orientasi dan jarak antar serbuk didalam matriks. Konduktivitas listrik juga sangat berpengaruh terhadap resistivitas material.

Dari hasil penelitian umur beton terhadap konduktivitas listrik pada saat umur beton 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari nilai konduktivitas listrik dalam volume beton semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh kandungan air yang dimiliki beton semakin berkurang, ini diakibatkan karena dalam volume beton terjadi konduksi secara elektronik dan konduksi elektrolit sehingga menyebabkan berkurangnya elektron bebas yang mengalir di dalam volume beton. Konduksi elektronik ini terjadi melalui gerakan dari elektron bebas di media konduktif, sedangkan konduksi elektrolit berlangsung dengan gerakan ion di dalam larutan pori. Artinya kondisi elektronik terjadi jika batuan memiliki banyak elektron bebas, sehingga arus listrik mudah melalui batuan. Konduksi elektrolit terjadi pada batuan yang bersifat poros dan pori-pori yang berisi larutan elektrolit, dimana arus listrik mengalir akibat dibawa oleh ion-ion larutan elektrolit. Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan dengan bertambahnya

umur beton dapat menurunkan konduktivitas listrik dalam volume beton. Artinya semakin lama umur beton maka konduktivitas listrik dalam volume beton semakin menurun seperti yang ditampilkan pada Gambar 11. Hal ini disebabkan karena kandungan air yang mulai berkurang dan efek dari hidrasi beton itu sendiri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa 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%.

Umur beton juga berpengaruh 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Mulyono, Tri. MT. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- [2]. Lestari, Sri. 2004. *Mengurai Susunan Periodik Unsur Kimia*. Jakarta: Kawan Pustaka.
- [3]. Tian, Hu. 2012. *Test and Study on Electrical Property of Conductive Concrete*. CINA: Yunnan Agricultural University.
- [4]. Zuofu, Zuoqiu, Jianjun. 2007. *Electrical Conductivity of the Carbon Fiber Conductive Concrete*. Cina: Yangtze University.
- [5]. Yehia, Sherif. 2008. *Conductive Concrete Overlay for Bridge Deck Deicing*. Cina: Western Michigan University.
- [6]. Ogunsola, Reggiani, Sandrolini. 2009. *Shielding Properties of Conductive Concrete Against Transient Electromagnetic Disturbances*. Italy: University of Bologna.
- [7]. Zuofu, Zuoqiu, Jianjun. 2010. *Electrically Conductive Concrete for Heating Using Steel Bars as Electrodes*. Cina: Wuhan University of Technology.
- [8]. Yao, Wang. 2010. *Analysis of Resistance Characteristics of Conductive Concrete Using Press Electrode Method*. Cina: Chung Yuan Christian University.
- [9]. Tian, Hu, Chen. 2012. *An Environment-Friendly Conductive Concrete*. CINA: Yunnan Agricultural University.
- [10]. Garcia, Schlangen and Martin, Liu. 2009. *Electrical Conductivity of Asphalt Mortar Containing Conductive Fibers and Fillers*. Netherlands: Delft University of Technology.
- [11]. Shaopeng, Mo and Shui, Chen. 2005. *Investigation of the Conductivity of Asphalt Concrete Containing Conductive Fillers*. Cina: Wuhan University of Technology.
- [12]. Departemen PU Indonesia. 2007. *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton (SNI DT-91-0008-2007)*. Indonesia: Departemen PU.
- [13]. Rand, Briand. 2009. *Graphite Structure, properties and manufacture*. AS: University of Pretoria.
- [14]. Bibit, Supardi. 2004. *Fisika Modern Astronomi*. Jakarta: Erlangga.
- [15]. Andrio. 2010. *Perbedaan Intan dan Grafit*. Manado: UNIMED.
- [16]. Telford, W. M. Geldart, Sheriff. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. USA: Cambridge University Press
- [17]. Irzaman, Erviansyah dan Syafutra, Maddu, Siswadi. 2010. *Studi Konduktivitas Listrik Film Tipis Ba_{0.25} Sr_{0.75} TiO₃ Yang Didadah Ferium Oksida (BFST) Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition (CSD)*. Bogor: IPB
- [18]. Maghrifandi, Ardhyananta. 2012. *Pengaruh Penambahan Grafit Terhadap Kekuatan Tarik, Konduktivitas Listrik dan Stabilitas Termal Pada Komposit Polidimetilsilosan/Grafit*. Surabaya: ITS.
- [19]. Rizkyta, Ardhyananta. 2013. *Pengaruh Penambahan Karbon Terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon/Epoksi Sebagai Pelat Bipolar Polimer Elektrolit Membran Sel Bahan Bakar (PEMFC))* Vol. 2, No. 1, ISSN: 2337-3539. Surabaya: ITS
- [20]. Lowrie, William. 2007. *Fundamental Of Geophysics, Second Edition*. Newyork: Cambridge University Press.
- [21]. Whittington, Carter and Forde. 1981. *The Conduction Of Electricity Through Concrete*. USA: University of Edinburgh.
- [22]. Song, Guangling. 2000. *Equivalent circuit model for AC electrochemical impedance spectroscopy of concrete*. Australia: University of Queensland.
- [23]. Iskandar, Saepuloh, Prasetya dan Nindry, Taniguchi. 2012. *Pembuatan dan karakteristik Bahan Organik Superkonduktor β-(BEDT-TTF)₂I₃ dan β'-(BEDT-TTF)₂ICl₂*. Jatinangor: Universitas Padjajaran.