



**ANALISA KUALITAS SEMEN MELALUI PENGUKURAN  
KONSTANTA DIELEKTRIK DAN RESISTIVITAS**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Holili Nur Arivah**

**111810201023**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2016**



**ANALISA KUALITAS SEMEN MELALUI PENGUKURAN  
KONSTANTA DIELEKTRIK DAN RESISTIVITAS**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh:

**Holili Nur Arivah**

**111810201023**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2016**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh syukur dan terima kasih untuk:

1. Kedua orang tua tercinta Ari Karyanto dan Hatima terima kasih atas segala kasih sayang, dukungan moral dan materil, nasihat, sejuta kesabaran, serta untaian do'a yang selalu mengiringi langkah adinda untuk mencapai keberhasilan;
2. Guru-guru tercinta sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya;
3. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

## MOTO

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. (QS. Al-Insyirah: 5-7) \*)



---

\*) Terjemahan Qs. Al-Insyirah: 5-7.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Holili Nur Arivah

NIM : 111810201023

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisa Kualitas Semen Melalui Pengukuran Konstanta Dielektrik dan Resistivitas” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Oktober 2016

Yang menyatakan,

Holili Nur Arivah

NIM 111810201023

**SKRIPSI**

**ANALISA KUALITAS SEMEN MELALUI PENGUKURAN  
KONSTANTA DIELEKTRIK DAN RESISTIVITAS**

Oleh:

Holili Nur Arivah

111810201023

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Misto, M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisa Kualitas Semen Melalui Pengukuran Konstanta Dielektrik dan Resistivitas” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari, Tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua (Dosen Pembimbing Utama)

Sekretaris (Dosen Pembimbing Anggota)

Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si.

Ir. Misto, M. Si.

NIP. 197202101998021001

NIP. 195911211991031002

Penguji I

Penguji II

Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.

Nurul Priyantari, S.Si., M. Si.

NIP. 196712151998021001

NIP. 197003271997022001

Mengesahkan

Dekan FMIPA Universitas Jember,

Drs. Sujito, Ph. D.

NIP 196102041987111001

## RINGKASAN

**Analisa Kualitas Semen Melalui Pengukuran Konstanta Dielektrik dan Resistivitas;** Holili Nur Arivah, 111810201023; 2016: 48 Halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Konstanta dielektrik adalah suatu konstanta yang besarnya tergantung pada sistem yang digunakan serta bahan yang digunakan. Sedangkan sistem yang digunakan adalah nilai kapasitor yang dibentuk dari dua buah pelat sejajar yang dipisahkan oleh bahan dielektrik.

Resistivitas adalah karakteristik bahan yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Begitu pula sebaliknya apabila nilai resistivitasnya rendah maka akan semakin mudah bahan tersebut menghantarkan arus listrik.

Penelitian ini menggunakan 3 merk semen yang dicampurkan dengan pasir dan air sebagai salah satu medium yang digunakan sebagai bahan dielektrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas semen dengan menggunakan pengukuran nilai konstanta dielektrik dan resistivitas pada semen. Penelitian ini menggunakan metode kapasitif dan resistif dimana semen yang diapit oleh pelat sejajar dihubungkan seri dengan kapasitor dan resistor, kemudian rangkaian tersebut dihubungkan dengan osiloskop untuk mengukur tegangan masukan dan tegangan keluaran sehingga diperoleh nilai konstanta dielektrik dan resistivitas. Penambahan hari (umur semen) pada saat pengukuran akan berdampak pada perubahan nilai konstanta dielektrik dan resistivitas. Pengukuran ini dilakukan setiap hari selama 28 hari dengan menggunakan dimensi bahan dielektrik berukuran 3cmx3cmx3cm.

Konstanta dielektrik pada saat hari ke 1 memiliki nilai yang berbeda yaitu sebesar 2,64 pada semen merk A, 2,32 pada semen merk B dan 2,48 pada semen merk C. Pada hari ke 28 semua merk semen memiliki nilai konstanta dielektrik yang sama yaitu sebesar 0,30. Sedangkan nilai resistivitas pada pada hari ke 1 sebesar 0,67  $\Omega m$  untuk semen merk A, 0,88  $\Omega m$  untuk semen merk B dan 0,67  $\Omega m$  untuk semen merk C, pada hari ke 28 yaitu sebesar 30,00  $\Omega m$  untuk semua merk semen. Nilai konstanta dielektrik dan resistivitas tidak dipengaruhi oleh perbedaan merk semen yang digunakan karena pada hari ke 28 semua merk semen memiliki nilai konstanta dielektrik dan resistivitas yang sama. Semen merk A mengalami penurunan drastis dan lebih cepat mencapai nilai konstanta dielektrik minimum dibandingkan dengan semen merk B dan merk C. Semen merk A juga mengalami kenaikan yang drastis pada nilai resistivitas di minggu pertama, namun semen merk C lebih cepat mencapai nilai resistivitas maksimum daripada semen yang lainnya.

Nilai konstanta dielektrik pada semen mengalami penurunan pada saat penambahan umur (waktu pengeringan). Sedangkan untuk nilai resistivitas pada semen mengalami kenaikan pada saat penambahan umur (waktu pengeringan). Hal ini disebabkan oleh nilai tegangan keluaran yang diperoleh pada saat pengukuran, dimana semakin kecil nilai tegangan keluaran maka akan semakin kecil nilai konstanta dielektriknya, hal ini disebabkan karena nilai tegangan keluaran berbanding lurus dengan nilai konstanta dielektrik, sedangkan untuk nilai resistivitas berbanding terbalik dengan nilai tegangan keluaran sehingga membuat nilai resistivitas semakin besar. Selain itu kandungan air yang ada di dalam semen mempengaruhi nilai konstanta dielektrik dan resistivitas, dimana semakin lama waktu pengeringan akan membuat kandungan air semakin berkurang (kecil) dan campuran semen menjadi lebih keras. Hal ini berarti semakin lama waktu pengeringan maka semen akan semakin keras. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin mengerasnya semen maka nilai konstanta dielektrik menurun dan nilai resistivitasnya meningkat.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Kualitas Semen Melalui Pengukuran Konstanta Dielektrik dan Resistivitas”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

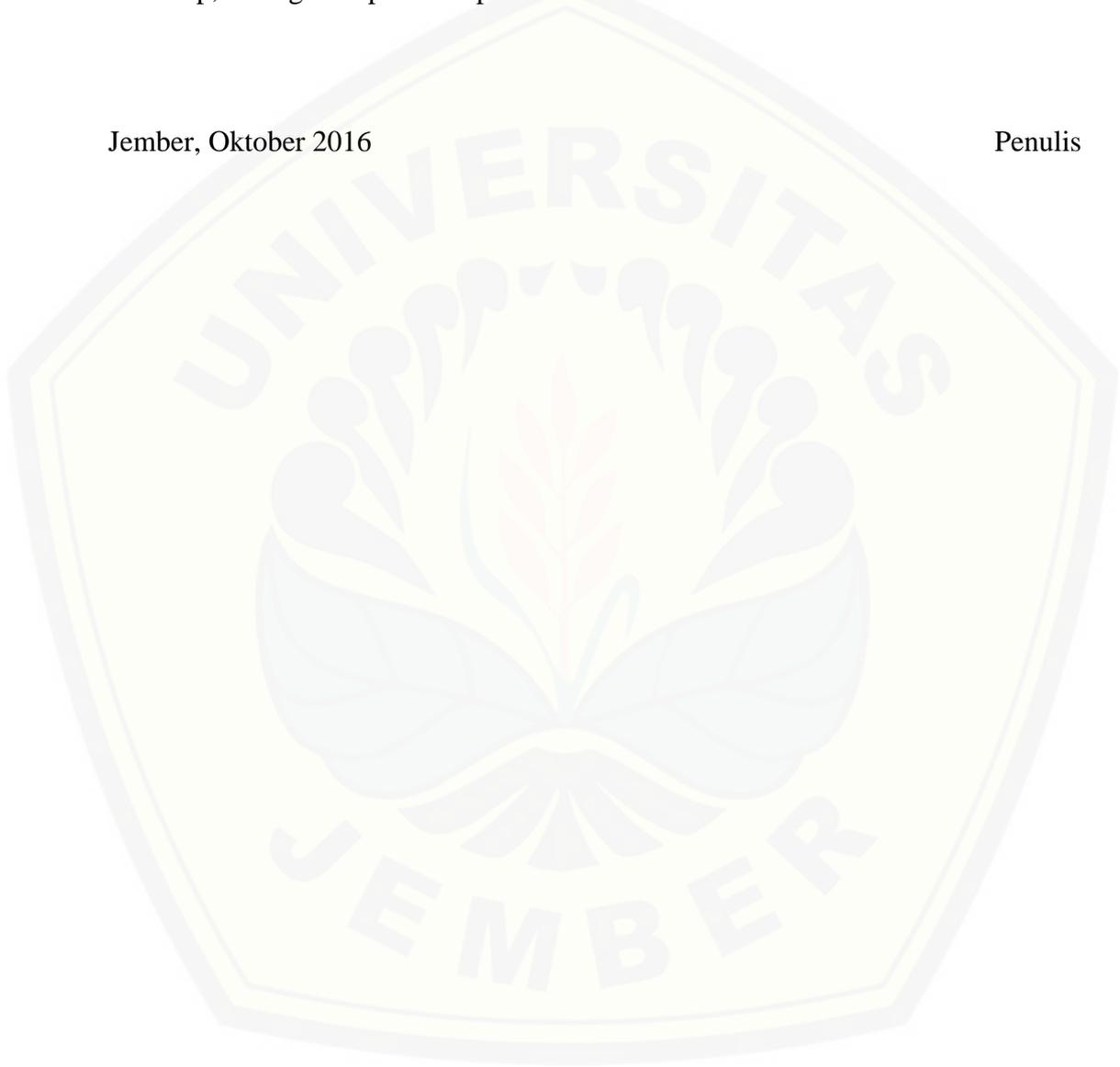
1. Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ir. Misto, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si., dan Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan kritikan dalam skripsi ini;
3. Dra. Arry Y. Nurhayati selaku Dosen Pembimbing Akademik yang sudah membimbing saya selama ini;
4. Kakak tercinta Wendiono dan adik tercinta Shinta Nur Aini atas canda, senyum, semangat serta doa dan memberikan keindahan di dalam hidupku;
5. Yokik Arifin yang telah banyak memberikan nasehat dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Luluk Mukarromah, Rofiatun, Faridatul Hasanah dan teman-teman GP'11 atas semangat dan dukungannya;
7. Guru-guru tercinta sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya;
8. Seluruh staf pengajar dan karyawan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
9. Nur Maida, Diah Ayu S, Ainul Ulfah M, Siti Lailatul R dan Safira Martha P terima kasih telah menjadi keluarga selama masa perkuliahan;

10. Terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis selalu membuka diri untuk menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Oktober 2016

Penulis



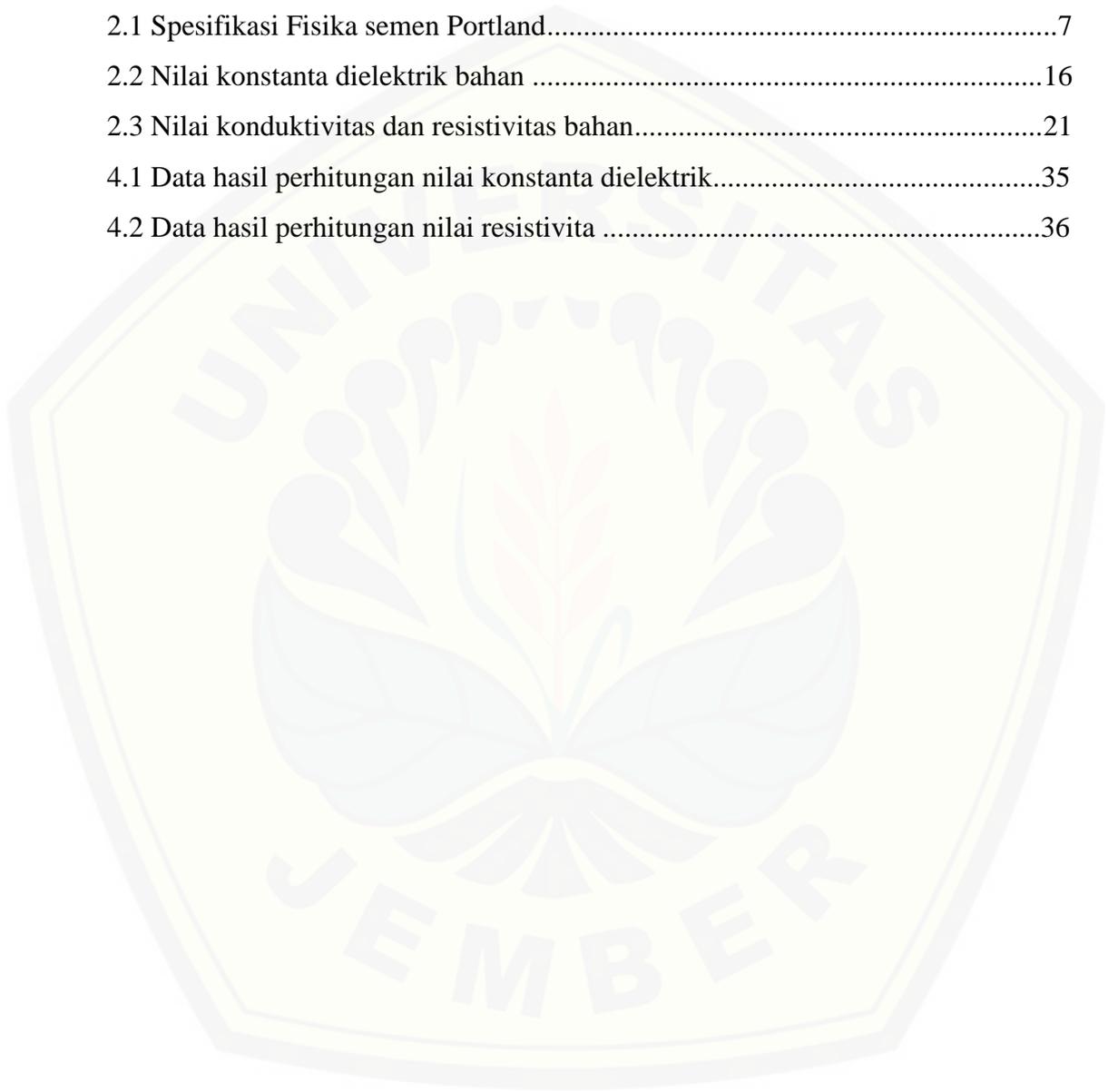
**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.4 Tujuan</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Semen</b> .....	5
2.1.1 Sejarah dan Pengertian Semen.....	5
2.1.2 Jenis-Jenis Semen .....	6
2.1.3 Sifat-Sifat Semen .....	9
<b>2.2 Kapasitor dan Konstanta Dielektrik</b> .....	12
2.2.1 Kapasitor .....	12
2.2.2 Konstanta Dielektrik .....	15

2.3 Sensor Dengan Metode Kapasitif .....	17
2.4 Resistor.....	18
2.5 Sensor Dengan Metode Resistif .....	22
2.6 Osiloskop.....	24
2.7 <i>Function Generator</i> .....	26
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian .....	27
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian .....	27
3.2.1 Alat Penelitian.....	27
3.2.2 Bahan Penelitian .....	27
3.3 Prosedur Penelitian.....	28
3.3.1 Diagram Alir .....	28
3.3.2 Tahap Persiapan Bahan.....	29
3.3.3 Penyusunan Alat Penelitian .....	30
3.3.4 Kalibrasi Alat Penelitian .....	31
3.3.5 Proses Pengambilan Data.....	31
3.4 Analisa Data .....	32
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1. Hasil.....	35
4.2. Pembahasan.....	37
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>44</b>
5.1. Kesimpulan.....	44
5.2. Saran .....	44
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>48</b>

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Spesifikasi Fisika semen Portland.....	7
2.2 Nilai konstanta dielektrik bahan .....	16
2.3 Nilai konduktivitas dan resistivitas bahan.....	21
4.1 Data hasil perhitungan nilai konstanta dielektrik.....	35
4.2 Data hasil perhitungan nilai resistivita .....	36

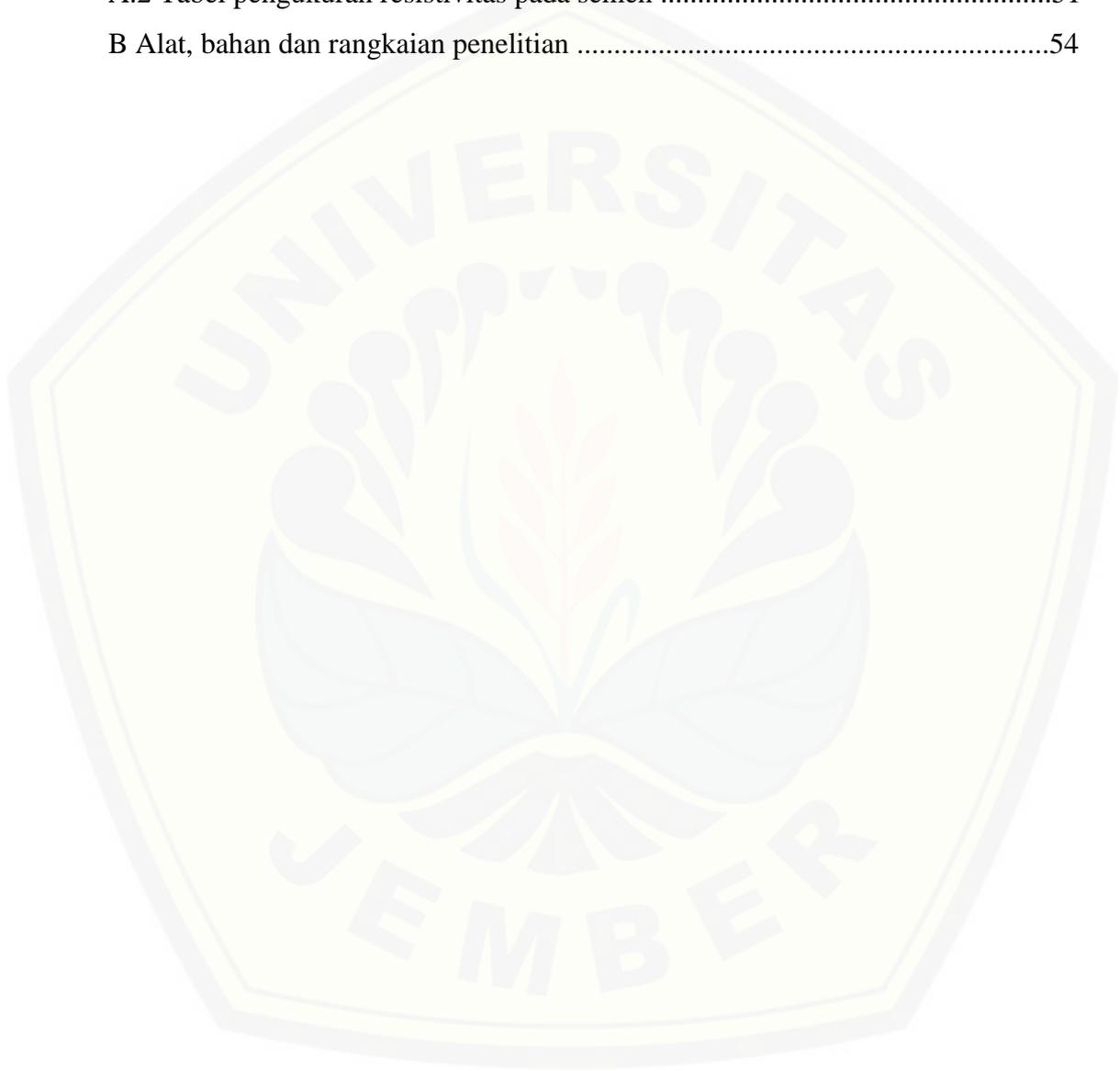


**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Simbol kapasitor .....	13
2.2 Kapasitor dua pelat sejajar .....	14
2.3 Rangkaian sensor kapasitif.....	17
2.4 Representasi resistansi ideal.....	19
2.5 Silinder konduktor.....	20
2.6 Rancangan sensor dengan metode resistif.....	22
2.7 Rangkaian resistor seri .....	23
2.8 Osiloskop analog.....	24
2.9 Osiloskop digital .....	25
2.10 Function generator .....	26
3.1 Semen yang digunakan pada penelitian.....	28
3.2 Diagram alir penelitian.....	29
3.3 Desain alat untuk pengukuran nilai konstanta dielektrik pada semen .....	30
3.4 Desain alat untuk pengukuran nilai resistivitas pada semen .....	30
4.1 Grafik hubungan antara nilai konstanta dielektrik dan umur semen.....	40
4.2 Grafik hubungan antara nilai resistivitas dan umur semen .....	41

**DAFTAR LAMPIRAN**

A.1 Tabel pengukuran konstanta dielektrik pada semen.....	48
A.2 Tabel pengukuran resistivitas pada semen .....	51
B Alat, bahan dan rangkaian penelitian .....	54



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semen berasal dari bahasa latin “*caementum*” yang berarti bahan perekat yang mampu mempersatukan atau mengikat bahan padat menjadi satu kesatuan yang kokoh dan mempunyai fungsi sebagai bahan perekat antara dua atau lebih bahan sehingga menjadi satu bagian yang kompak. Semen merupakan senyawa atau zat pengikat hidrolis yang terdiri dari senyawa C-S-H (Kalsium Silikat Hidrat) yang apabila bereaksi dengan air akan dapat mengikat bahan-bahan padat lainnya, membentuk satu kesatuan massa yang kompak, padat dan keras atau dalam pengertian yang luas adalah material plastis yang memberikan sifat rekat antara batuan-batuan konstruksi bangunan.

Material semen adalah material yang memiliki sifat adesif (*adhesive*) dan kohesif (*cohesive*) yang memungkinkan untuk mengikat fragme-fragmen mineral atau agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat mempunyai kekuatan. Semen hidrolik adalah semen yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Semen jenis ini terdiri dari silikat dan lime yang terbuat dari batu kapur dan tanah liat yang digerinda, dicampur, dibakar dalam pembakaran kapur, kemudian dihancurkan menjadi tepung. Semen hidrolik biasa yang dipakai untuk mortar dinamakan semen portland (Edward Nawy G, 1998)

Semen pada awalnya dikenal di Mesir tahun 500 SM pada pembuatan piramida, yaitu sebagai pengisi ruang kosong diantara celah-celah tumpukan batu. Semen yang dibuat bangsa Mesir merupakan kalsinasi *gypsum* yang tidak murni, sedang kalsinasi batu kapur mulai digunakan pada zaman Romawi. Kemudian bangsa Yunani membuat semen dengan cara mengambil tanah vulkanik (*vulcanic tuff*) yang berasal dari pulau Santoris yang kemudian dikenal dengan *santoris cement* (Duda, 1984).

Menurut Mulyono (2004), semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika semen ditambah air maka akan menjadi pasta semen, jika ditambah agregat halus pasta semen akan menjadi mortar, jika mortar ditambah agregat kasar, maka akan menjadi beton segar dan setelah mengeras akan menjadi beton keras atau *hard concrete*.

Semen Portland yang beredar di masyarakat banyak merknya dan perbedaan merk tersebut memungkinkan mutu dari semen itu sendiri berbeda-beda. Perbedaan tersebut mungkin dikarenakan banyak sedikitnya campuran dari unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Penggunaan semen di kalangan masyarakat pada umumnya sebagai bahan dasar sebuah konstruksi bangunan. Pencampuran semen dan bahan dasar lainnya seperti pasir dan air pada sebuah konstruksi juga tidak terlalu diperhatikan sehingga menyebabkan konstruksi tersebut gampang rusak. Dalam ilmu pengetahuan khususnya sains semen mempunyai sifat-sifat yang dapat diteliti sehingga dapat memberikan pengetahuan yang baru bagi masyarakat. Sifat fisika pada semen seperti pengikat dan pengerasan, kuat tekan dan panas hidrasi. Selain sifat fisika tersebut ada juga penentuan konstanta dielektrik, konduktivitas, resistivitas pada semen dan lain-lain.

Yohana, *et al.*, (2003) telah melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan pasir pada campuran pasta semen *Portland* dengan pasir lokal terhadap kuat tekan dan dielektrisitasnya. Jika pasta semen ini dicampurkan dengan pasir lokal dalam berbagai komposisi maka akan memiliki sifat dielektrik tertentu dan memberikan suatu pola tertentu terhadap penambahan pasir dalam campuran. Dalam penelitian ini digunakan komposisi campuran semen dan pasir adalah 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 dan 1:7. Campuran yang telah dibuat, dicetak dengan bentuk  $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$  dan mengalami pemeliharaan (pengeringan) selama 27 hari. Karakteristik campuran dilakukan pada hari ke 28 dan dilakukan uji kuat tekan, dimana kuat tekan merupakan kemampuan suatu material untuk menahan suatu beban tekan dengan alat penguji kuat tekan suatu bahan (*Compretion test*)

dan uji dielektrik dengan alat LCR meter seri. Hasil uji kuat tekan yang diperoleh pada penelitian ini yaitu semakin besar penambahan pasir pada campuran pasta semen membuat nilai kuat tekan menurun dan hasil uji dielektrik diperoleh bahwa semakin besar penambahan pasir pada campuran pasta semen membuat nilai konstanta dielektrik menurun.

Hasil pengujian Liu, *et al.*, (2008) menunjukkan bahwa tahanan listrik tanah-semen naik dengan meningkatnya rasio campuran semen dan waktu pemeraman, sebaliknya tahanan listrik menurun dengan peningkatan kadar air, derajat kejenuhan dan rasio campuran air semen. Penelitian lain juga dilakukan mengenai resistivitas campuran antara semen dan resin dengan konsentrasi resin 10 ml, 40 ml, dan 60 ml. Resin adalah getah yang dikeluarkan banyak jenis tumbuhan yang biasa digunakan sebagai bahan perekat. Resistivitas sampel campuran dengan nilai rasio air terhadap semen, diuji menggunakan Nanuirea Resistivitymeter NRD 22T. Putra, *et al.*, (2010) memperlihatkan kenaikan nilai resistivitas terhadap peningkatan volume resin yang berada dalam campuran.

Pada penelitian ini, peneliti berinovasi melakukan pengukuran nilai konstanta dielektrik dan resistivitas pada semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) merk A, merk B dan merk C dengan dicampurkan pasir dan air. Rangkaian yang digunakan pada penelitian ini adalah rangkaian resistor dan kapasitor seri yang dihubungkan dengan semen melalui pelat sejajar untuk menentukan nilai konstanta dielektrik dan resistivitas, selain nilai tersebut pada penelitian ini juga dapat mengetahui nilai kapasitansi dan nilai tegangan pada semen.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana nilai konstanta dielektrik dan resistivitas pada tiap merk semen yang digunakan?

2. Bagaimana pengaruh nilai konstanta dielektrik dan resistivitas terhadap umur (waktu pengeringan) semen dan perbedaannya untuk setiap merk semen yang digunakan?

### 1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan yang diukur konstanta dielektrik & resistivitasnya adalah semen dengan menggunakan 3 merk semen dan dicampur dengan pasir dan air.
2. Pasir yang digunakan adalah pasir halus dan menggunakan air biasa.
3. Campuran semen, pasir dan air dibentuk menjadi padatan berukuran  $3\text{cm} \times 3\text{cm} \times 3\text{cm}$ .
4. Padatan semen dikeringkan dengan menggunakan suhu ruang.
5. Rangkaian yang digunakan adalah rangkaian resistor dan kapasitor seri.
6. Pembacaan tegangan output rangkaian dilakukan dengan menggunakan osiloskop.

### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai konstanta dielektrik dan resistivitas pada tiap merk semen yang digunakan.
2. Mengetahui pengaruh nilai konstanta dielektrik dan resistivitas terhadap umur (waktu pengeringan) semen dan perbedaannya untuk setiap merk semen yang digunakan.

### 1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang hubungan nilai konstanta dielektrik dan resistivitas semen terhadap umur (waktu pengeringan) semen. Manfaat lain untuk mengetahui kualitas semen dengan menggunakan pengukuran nilai konstanta dielektrik dan resistivitas pada semen.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Semen

#### 2.1.1 Sejarah dan Pengertian Semen

Pada tahun 1756 Jhon Smeaton seorang Sarjana Inggris berhasil melakukan penyelidikan terhadap batu kapur dengan pengujian ketahanan air. Batu kapur yang dimaksud tersebut adalah kapur hidrolis (*hydroulic lime*). Kemudian oleh Vicat ditemukan bahwa sifat hidrolis akan bertambah baik jika ditambahkan juga silika atau tanah liat yang mengandung alumina dan silika. Akhirnya Vicat membuat kapur hidrolis dengan cara pencampuran tanah liat (*clay*) dengan batu kapur (*limestone*) pada perbandingan tertentu, kemudian campuran tersebut dibakar (dikenal dengan *Artifical lime twice kilned*). Pada tahun 1811, James Frost mulai membuat semen yang pertama kali dengan menggunakan cara seperti Vicat yaitu dengan mencampurkan dua bagian kapur dan satu bagian tanah liat. Hasilnya disebut *Frost's cement*. Pada tahun 1812 prosedur tersebut diperbaiki dengan menggunakan campuran batu kapur yang mengandung tanah liat dan ditambahkan tanah Argillaceus (mengandung 9-40 % *silica*). Semen yang dihasilkan disebut *British cement*. Bangsa Romawi menggunakan semen yang diambil dari material vulkanik yang ada dipengunungan Vesuvius di lembah Napples yang kemudian dikenal dengan nama *pozzulona cement*, yang diambil dari sebuah nama kota di Italia yaitu Pozzoula (Duda, 1984).

Semen berasal dari kata *caementum* yang berarti bahan perekat yang mampu mempersatukan atau mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kokoh atau suatu produk yang mempunyai fungsi sebagai bahan perekat antara dua atau lebih bahan sehingga menjadi suatu bagian yang kompak atau dalam pengertian yang luas adalah material plastis yang memberikan sifat rekat antara batuan-batuan konstruksi bangunan (Duda, 1984).

Menurut Wulandari (2008), Dalam lingkup konstruksi, pengertian dari semen ini terbatas pada material penyatu yang digunakan bersamaan dengan batu, pasir, bata, dan lainnya. Material utama dari semen ini adalah campuran dari kapur. Semen, dalam hubungannya dengan beton, memiliki sifat akan *setting* dan *hardening* di dalam air akibat adanya reaksi-reaksi kimia, dan oleh karena itu disebut sebagai semen hidraulis. Semen hidraulis pada umumnya terdiri dari *silicate* dan *alluminate* yang berasal dari kapur, dan dapat diklasifikasikan atas semen alam, semen Portland, dan *high-alumina cement*.

### 2.1.2 Jenis-Jenis Semen

#### 1. *Portland Cement*

Semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, bersama bahan tambahan yang biasanya digunakan adalah *gypsum*. Klinker adalah penamaan untuk gabungan komponen produk semen yang belum diberikan tambahan bahan lain untuk memperbaiki sifat dari semen (Duda, 1984).

Ditinjau dari penggunaannya, menurut ASTM semen portland dapat dibedakan menjadi lima tipe, yaitu :

- Tipe I : semen portland jenis umum (*normal portland cement*)  
Yaitu jenis semen portland untuk penggunaan dalam konstruksi beton secara umum yang tidak memerlukan sifat-sifat khusus.
- Tipe II : semen jenis umum dengan perubahan-perubahan (*modified portland cement*)

Semen ini memiliki panas hidrasi yang lebih rendah dan keluarnya panas lebih lambat daripada semen jenis I. Jenis ini digunakan untuk bangunan-bangunan tebal, seperti pilar dengan ukuran besar, tumpuan dan dinding penahan tanah yang tebal. Panas hidrasi yang agak rendah dapat mengurangi terjadinya retak-retak pengerasan. Jenis ini juga digunakan untuk bangunan-bangunan drainase di tempat yang memiliki konsentrasi sulfat agak tinggi.

- Tipe III : semen portland dengan kekuatan awal *tinggi (high early strength portland cement)*

Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat, sehingga dapat digunakan untuk perbaikan bangunan beton yang perlu segera digunakan atau yang acuannya perlu segera dilepas. Selain itu juga dapat dipergunakan pada daerah yang memiliki temperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin.

- Tipe IV : semen portland dengan panas hidrasi yang rendah (*low heat portland cement*)

Jenis ini merupakan jenis khusus untuk penggunaan yang memerlukan panas hidrasi serendah-rendahnya. Kekuatannya tumbuh lambat. Jenis ini digunakan untuk bangunan beton massa seperti bendungan-bendungan gravitasi besar.

- Tipe V : semen portland tahan sulfat (*sulfate resisting portland cement*).

Jenis ini merupakan jenis khusus yang maksudnya hanya untuk penggunaan pada bangunan-bangunan yang kena sulfat, seperti di tanah atau air yang tinggi kadar alkalinnya. Pengerasan berjalan lebih lambat daripada semen portland biasa (Wuryati S. dan Candra R., 2001).

Semen juga memiliki spesifikasi dalam ilmu Fisika, yaitu seperti tabel berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi Fisika semen Portland

Bahan	Tipe				
	I	II	III	IV	V
1. Kehalusan :					
a. Sisa diatas ayakan 0,09 mm maks (%)	0	0	0	0	0
b. Dengan alat blaine, minimal ( $cm^2/g$ )	800	800	800	800	800
2. Waktu pengikatan ( <i>menit</i> ) :					
a. Dengan alat vlost, awal minimal	5	5	5	5	5
b. Dengan alat vlost, akhir minimal	5	5	5	5	5
c. Dengan alat gillmore, awal minimal	0	0	0	0	0
d. Dengan alat gillmore, akhir minimal	0	0	0	0	0
3. Pemuaiian dengan autoclave maksimal	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Bahan	Tipe				
	I	II	III	IV	V
4. Kuat tekan :					
a. Satu hari, minimal ( $kg/cm^2$ )	-	-	25	-	-
b. Tiga hari, minimal ( $kg/cm^2$ )	-	-	50	-	-
c. Tujuh hari, minimal ( $kg/cm^2$ )	25	0	-	-	50
d. Dua puluh delapan hari, minimal ( $kg/cm^2$ )	0	75	-	-	10
5. Panas hidrasi :					
a. Tujuh hari, maks ( $cal/g$ )	-	0	-	0	-
b. Dua puluh delapan hari, maks ( $cal/g$ )	-	0	-	0	0
6. Pengikatan semu penetrasi akhir. (%)	0	0	0	0	0
7. Pemuaiannya karena 14 hari maks	-	-	-	-	0

(Sumber : Duda, 1984).

## 2. Semen Non Portland

- Semen Alam (*Natural Cement*)

Semen alam merupakan semen yang dihasilkan dari proses pembakaran batu kapur dan tanah liat pada suhu 850–1000°C kemudian tanah yang dihasilkan digiling menjadi semen halus.

- Semen Alumina Tinggi (*High Alumina Cement*)

Semen Alumina Tinggi pada dasarnya adalah suatu semen kalsium aluminat yang dibuat dengan meleburkan campuran batu gamping, bauksit, dan bauksit ini biasanya mengandung oksida besi, silika, magnesia, dan ketidakmurnian lainnya.

- Semen *Portland Pozzolan*.

Semen *Portland Pozzolan* adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina dimana bahan pozzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat seperti semen akan tetapi dalam bentuk halusanya dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi membentuk kalsium aluminat hidrat yang bersifat hidraulis (Pringadi, 1995).

### 2.1.3 Sifat-Sifat Semen

Masing-masing jenis semen memiliki karakteristik atau sifat kimia dan sifat fisika yang berbeda-beda. Untuk menjaga tetap terjaminnya mutu semen Portland maka sifat-sifat kimia dan fisika harus terus diperhatikan. Sifat-sifat utama kimia dan fisika yaitu sebagai berikut :

#### a. Sifat Kimia Semen

- *Lime Saturated Factor (LSF)*  
Batasan agar semen yang dihasilkan tidak tercampur dengan bahan-bahan alami lainnya.
- Magnesium Oksida (MgO)  
Pada umumnya semua standard semen membatasi kandungan MgO dalam semen Portland, karena MgO akan menimbulkan *magnesia expansion* pada semen setelah jangka waktu lebih daripada setahun.
- SO<sub>3</sub> (Sulfur Trioksida)  
Kandungan SO<sub>3</sub> dalam semen adalah untuk mengatur atau memperbaiki sifat *setting time* (pengikatan) dari mortar (sebagai *retarder*) dan juga untuk kuat tekan. Karena kalau pemberian *retarder* terlalu banyak akan menimbulkan kerugian pada sifat *expansive* dan dapat menurunkan kekuatan tekan. Sebagai sumber utama SO<sub>3</sub> yang sering banyak digunakan adalah *gypsum*.
- Hilang Pijar (*Loss On Ignition*)  
Persyaratan hilang pijar dicantumkan dalam standard adalah untuk mencegah adanya mineral-mineral yang dapat diurai dalam pemijaran. Kristal mineral-mineral tersebut pada umumnya dapat mengalami metamorfosa dalam waktu beberapa tahun, dimana metamorfosa tersebut dapat menimbulkan kerusakan.

- Residu Tak Larut

Bagian tak larut dibatasi dalam standard semen. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah dicampurnya semen dengan bahan-bahan alami lain yang tidak dapat dibatasi dari persyaratan fisika mortar.

- Alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ )

Kandungan alkali pada semen akan menimbulkan keretakan pada beton maupun pada mortar, apabila dipakai agregat yang mengandung silikat reaktif terhadap alkali. Apabila agregatnya tidak mengandung silikat yang reaktif terhadap alkali, maka kandungan alkali dalam semen tidak menimbulkan kerugian apapun. Oleh karena itu tidak semua standard mensyaratkannya.

- *Mineral Compound*

Pada umumnya standard yang ada tidak membatasi besarnya mineral compound tersebut, karena pengukurannya membutuhkan peralatan mikroskopik yang mahal. *Mineral compound* tersebut dapat di estimasi melalui perhitungan dengan rumus, meskipun perhitungan tidak teliti. Tetapi ada standard yang mensyaratkan *mineral compound* ini untuk jenis-jenis semen tertentu. misalnya ASTM untuk standard semen tipe IV dan tipe V.

b. Sifat Fisika Semen

- Pengikatan dan Pengerasan ( *Setting Time dan Hardening* ).

Mekanisme terjadinya setting dan hardening yaitu ketika terjadi pencampuran dengan air, maka akan terjadi air dengan  $\text{C}_3\text{A}$  membentuk  $3\text{C}_a\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  yang bersifat kaku dan berbentuk gel. Maka untuk mengatur pengikatan perlu ditambahkan *gypsum* dan bereaksi dengan  $3\text{C}_a\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , membentuk lapisan *etteringete* yang akan membungkus permukaan senyawa tersebut. Namun karena ada peristiwa osmosis lapisan *etteringete* akan pecah dan reaksi hidrasi  $\text{C}_3\text{A}$  akan terjadi

lagi, namun akan segera terbentuk lapisan *ettringite* kembali yang akan membungkus  $3C_aO \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$  kembali sampai *gypsum* habis. Proses ini akhirnya menghasilkan perpanjangan *setting time*. Peristiwa diatas mengakibatkan reaksi hidrasi tertahan, periode ini disebut *Dormant Periode* yang terjadi selama 1-2 jam, dan selama itu pasta masih dalam keadaan plastis dan mudah dibentuk, periode ini berakhir dengan pecahnya *coating* dan reaksi hidrasi terjadi kembali dan *initial set* mulai terjadi.

Selama periode ini beberapa jam, reaksi dari  $3C_aO \cdot SiO_2$  terjadi dan menghasilkan  $C-S-H (3C_aO \cdot SiO_2)$  semen dan akan mengisi rongga dan membentuk titik-titik kontak yang menghasilkan kekakuan. Pada tahap berikutnya terjadi pengikatan konsentrasi  $C-S-H$  yang akan menghalangi mobilitas partikel – partikel semen yang akhirnya pasta menjadi kaku dan *final setting* tercapai, lalu proses pengerasan mulai terjadi.

- Ketahanan Terhadap Sulfat dan asam

Beton atau mortar dari semen Portland dapat mengalami kerusakan oleh pengaruh asam dari sekitarnya, yang umumnya serangan asam tersebut yaitu dengan merubah kontruksi-kontruksi yang tidak larut dalam air. Misalnya, HCl merubah  $C_4AF$  menjadi  $FeCl_2$ . Serangan asam tersebut terjadi karena  $CO_2$  bereaksi dengan  $Ca(OH)_2$  dari semen yang terhidrasi membentuk kalsium karbonat yang tidak larut dalam air pembentukan kalsium karbonat, sebenarnya tidak menimbulkan kerusakan pada beton tetapi proses berikutnya yaitu  $CO_2$  dalam air akan bereaksi dengan kalsium karbonat yang larut dalam air. Berbagai macam sulfat umumnya dapat menyerang beton ataupun mortar. Sulfat bereaksi dengan  $Ca(OH)_2$  dan kalsium aluminat hidrat, dan reaksi yang terjadi dapat menghasilkan pengembangan *volume* sehingga akan terjadi keretakan pada beton.

- 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.

- 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.  $C_2S$  memberikan kontribusi yang besar pada perkembangan kuat tekan awal, sedangkan  $C_2S$  memberikan kekuatan semen pada umur yang lebih lama.  $C_3A$  mempengaruhi kuat tekan sampai pada umur 28 hari dan selanjutnya pada umur berikutnya pengaruh ini semakin kecil.

- Panas Hidrasi

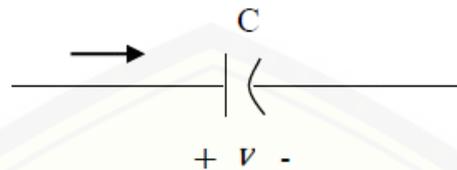
Panas hidrasi yaitu panas yang dihasilkan selama semen mengalami reaksi hidrasi. Hidrasi ini juga disebut hidrasi silika, silika dimana dua unsur silika  $C_3S$  dan  $C_2S$  bereaksi dengan air untuk menghasilkan hidrat kalsium silikat amorf yang dikenal sebagai gel C-S-H (gel tobermorite) yang merupakan perekat utama yang mengikat partikel pasir dan agregat bersama-sama dalam beton.  $C_3S$  jauh lebih reaktif dari  $C_2S$  dan pada kondisi suhu standar, sekitar  $20^{\circ}C$ , sekitar separuh dari  $C_3S$  dalam semen akan terhidrasi dalam 3 hari dan 80% dalam 28 hari (Hariawan, 2000).

## 2.2 Kapasitor dan Konstanta Dielektrik

### 2.2.1 Kapasitor

Kapasitor merupakan suatu komponen elektronika yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk tegangan, kapasitor pada dasarnya terbuat dari dua buah pelat logam yang saling sejajar satu dengan yang lainnya dan diantara kedua pelat logam tersebut terdapat bahan isolator yang disebut dielektrik. Bahan dielektrik tersebut dapat mempengaruhi nilai kapasitansi dari kapasitor, dimana bahan dielektrik yang paling sering digunakan adalah keramik,

kertas, udara dan metal film. Salah satu fungsinya kapasitor digunakan sebagai rangkaian resonansi pada osilator (Rusmandi, 2001).



Gambar 2.1 Simbol kapasitor (Sumber : William *et al*, 2005).

Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Coulombs pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulomb =  $6.25 \times 10^{18}$  elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulomb. Dengan rumus dapat ditulis :

$$Q = CxV \quad (2.1)$$

Keterangan :

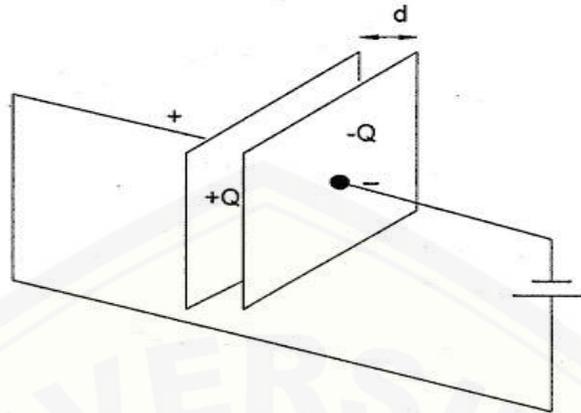
$Q$  : muatan elektron ( $C$ )

$C$  : kapasitansi dalam ( $F$ )

$V$  : besar tegangan dalam ( $volt$ )

(Sutrisno, 1983).

Kapasitor dua pelat sejajar seperti pada gambar 2.2. Mempunyai luas pelat  $A$  dan mempunyai jarak antar pelat  $d$ . (Bisman, 2003).



Gambar 2.2 Kapasitor dua pelat sejajar (Sumber: Marappung, 1989).

Nilai kapasitansi suatu kapasitor ditentukan oleh faktor geometri dan sifat bahan dielektrik. Untuk kapasitor pelat sejajar, faktor geometri ditentukan oleh luas permukaan elektroda  $A$  dan tebal dielektrik  $d$ . Sedang sifat bahan dielektrik ditentukan oleh konstanta dielektrik  $k$ .

Pada ruang hampa udara kapasitansi kapasitor diberikan oleh :

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.2)$$

Jika diantara lapisan-lapisan elektroda ditempatkan suatu bahan dielektrik, maka kapasitansinya akan bertambah sebesar :

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.3)$$

Dengan  $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ ,  $\epsilon$  adalah permitivitas bahan yang nilainya sebanding dengan permitivitas ruang hampa dikalikan dengan suatu konstanta atau permitivitas relatif yang disebut konstanta dielektrik  $\epsilon_r$ , sehingga untuk mencari konstanta dielektrik bahan adalah

$$\epsilon_r = \frac{Cd}{\epsilon_0 A} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$C$  : kapasitansi ruang hampa ( $F$ )

$\epsilon_0$  : permitivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12} F/m$ )

$A$  : luas permukaan elektroda ( $m^2$ )

$d$  : jarak antar elektroda (atau tebal bahan dielektrik) ( $m$ )

$\epsilon_r$  : konstanta dielektrik bahan

(Komisah, 2011).

### 2.2.2 Konstanta Dielektrik

Konstanta dielektrik adalah suatu bilangan konstanta yang besarnya tergantung pada sistem yang digunakan serta bahan yang digunakan. Sedangkan sistem yang digunakan adalah nilai kapasitor yang dibentuk dari dua buah pelat sejajar yang dipisahkan oleh bahan dielektrik (Kamajaya, 1984).

Jika menggunakan sebuah kapasitor pelat sejajar, yang membawa muatan  $q$  dan yang tidak terhubung dengan baterai, untuk menyediakan medan listrik luar yang seragam maka ditempatkan sebuah lempengan dielektrik. Efeknya terjadi proses penjajaran dan induksi untuk memisahkan muatan positif dari seluruh lempeng pelat dengan muatan negatif dengan sejauh jarak. Lempengan tersebut, secara keseluruhan bersifat netral secara listrik akan terpolarisasi (Halliday, 1988).

Untuk beberapa jenis bahan, nilai konstanta dielektriknya telah diketahui berdasarkan eksperimen. Beberapa nilai konstanta dielektrik bahan diberikan dalam tabel 2.2. Nilai-nilai konstanta dielektrik diperoleh berdasarkan pada temperatur kamar dan dengan kondisi tersebut medan listrik  $E$  di dalam dielektrik tidak berubah dengan waktu (Halliday, 1988).

Tabel 2.2 Nilai konstanta dielektrik bahan

Bahan	Konstanta Dielektrik
Vakum	1
Udara	1,00054
Air	78
Kertas	3,5
Mika merah delima	5,4
Porcelen	6,5
Kwarsa lebur	3,8
Gelas pirex	4,5
Bakelit	4,8
Polietilen	2,3
Amber	2,7
Teflon	2,1
Neopren	6,9
Minyak transformator	4,5
Titanium dioksida	100
Polistiren	2,6
Karet	7
Silikon	11,68
Metanol	30
Beton	4,5

(Sumber : Halliday, 1988).

Permitivitas relatif suatu konstanta dielektrik  $\epsilon_r$  didefinisikan sebagai perbandingan antara permitivitas dielektrik  $\epsilon$  dengan permitivitas udara/ruang hampa  $\epsilon_0$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.5)$$

Jika suatu dielektrik dengan permitivitas relatif  $\epsilon_r$  disisipkan diantara elektroda kapasitor pelat paralel yang memiliki luas  $A$  dan berjarak  $d$ , maka kapasitansi paralel yang semula (sebelum disisipkan bahan)

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.6)$$

Saat disisipkan bahan berubah menjadi

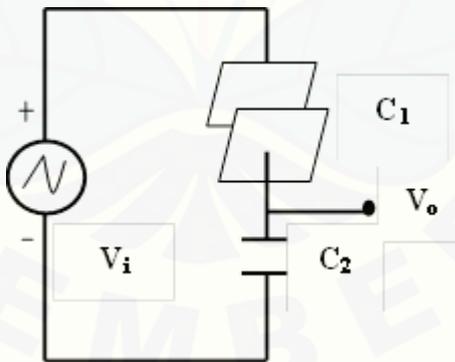
$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} \quad (2.7)$$

Jadi penyisipan dielektrik pada pelat kapasitor paralel akan meningkatkan kapasitansi sebesar  $\epsilon_r$  kali (Sudirham, 2002).

### 2.3 Sensor Dengan Metode Kapasitif

Sensor kapasitif merupakan sensor elektronika yang bekerja berdasarkan konsep kapasitif. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan nilai kapasitansinya atau muatan listrik yang dapat disimpan oleh sensor akibat perubahan jarak lempeng, perubahan luas penampang dan perubahan volume dielektrikum sensor kapasitif tersebut. Konsep kapasitor yang digunakan dalam sensor kapasitif adalah proses menyimpan dan melepas energi listrik dalam bentuk muatan-muatan listrik pada kapasitor yang dipengaruhi oleh luas permukaan, jarak dan bahan dielektrikum. Sifat sensor kapasitif dapat dimanfaatkan dalam proses pengukuran (Nuwaiir, 2009).

Sensor kapasitif yang terbuat dari kapasitor pelat sejajar ( $C_1$ ), nilai kapasitansinya dapat diukur dengan menggunakan rangkaian seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.3 Rangkaian sensor kapasitif (Sumber: Ananda dan Kusumandoyo, 2001).

Gambar di atas menunjukkan rangkaian pembagi tegangan dengan  $V_i$  adalah sinyal tegangan masukan dari osiloskop dan  $V_o$  adalah sinyal tegangan keluaran,  $C_2$  adalah kapasitor.  $C_1$  adalah kapasitor pelat sejajar dari bahan dielektrik (Soltani *et al*, 2010).

Dengan adanya hubungan kapasitansi dan tegangan maka diperoleh persamaan (Ananda dan Kusumandoyo, 2001) berikut:

$$V_o = \frac{XC_2}{XC_1 + XC_2} V_i \quad (2.8)$$

Dengan,

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi f C_1} \text{ dan } X_{C2} = \frac{1}{2\pi f C_2} \quad (2.9)$$

Sehingga diperoleh persamaan kapasitansi, yaitu :

$$C_1 = \frac{C_2}{\frac{V_i}{V_o} - 1} \quad (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.7) ke persamaan (2.10) maka akan memperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} = \frac{C_2}{\frac{V_i}{V_o} - 1} \quad (2.11)$$

Sehingga persamaan konstanta dielektrik adalah :

$$\epsilon_r = \frac{C_2 d}{\left(\frac{V_i}{V_o} - 1\right) \epsilon_0 A} \quad (2.12)$$

Keterangan :

$C_2$  : kapasitor ( $F$ )

$\epsilon_0$  : permitivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12} F/m$ )

$A$  : luas permukaan elektroda ( $m^2$ )

$d$  : jarak antar elektroda (atau tebal bahan dielektrik) ( $m$ )

$\epsilon_r$  : konstanta dielektrik bahan

$V_i$  : sinyal tegangan masukan dari osiloskop ( $volt$ )

$V_o$  : sinyal tegangan keluaran ( $volt$ )

## 2.4 Resistor

Resistor ditemukan pada tahun 1787 oleh seorang ahli Fisika yang bernama George Ohm dari bangsa Jerman. Resistor merupakan salah satu komponen elektronika yang bersifat pasif dimana komponen ini tidak membutuhkan arus

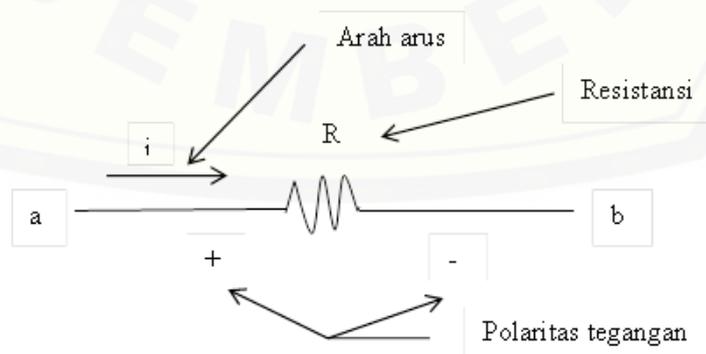
listrik untuk bekerja. Resistor memiliki sifat hambatan arus listrik dan resistor sendiri memiliki nilai besaran hambatan yaitu ohm ( $\Omega$ ) yang disimbolkan dengan huruf R (Alonso dan E.J. Finn, 1980)

Elemen rangkaian yang digunakan untuk menyatakan disipasi tenaga paling lazim dijelaskan dengan mengaruskan tegangan yang melalui elemen tersebut adalah berbanding langsung dengan arus yang melalui elemen tersebut. Secara matematis, tegangan tersebut adalah

$$v = Ri \quad (2.13)$$

Dimana  $i$  adalah arus yang dinyatakan dalam ampere. Konstanta kesebandingan R adalah *resistansi* (*resistance*) elemen tersebut dan diukur dalam ohm (disingkat  $\Omega$ ). Sebuah alat fisis yang ciri listrik utamanya adalah resistansi dinamakan sebuah *hambatan* (*resistor*) (Silaban, 1981).

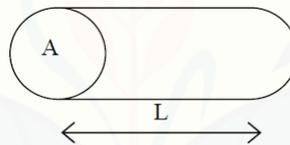
Representasi diagram konvensional dari sebuah resistansi, bersama-sama dengan penentuan arah arus dan polaritas tegangan, diperlihatkan dalam gambar 2.4. Tanda tambah (*plus*) dan tanda kurang (*minus*) menyatakan pengurangan potensial, yang berarti penurunan tegangan, dari kiri ke kanan (atau dari tambah ke kurang). Perhatikan bahwa dalam gambar 2.4, resistansi terdapat di antara dua terminal  $a$  dan  $b$ . Sebuah *terminal* adalah sebuah sambungan listrik dapat dibuat ke elemen lain atau ke alat lain.



Gambar 2.4 Representasi resistansi ideal (Sumber: Silaban, 1981).

Representatif skematis yang digambarkan dalam gambar 2.4 adalah representasi sebuah resistansi ideal. Hambatan yang praktis akan dipengaruhi oleh pembatasan- pembatasan yang ditetapkan oleh dunia yang “nyata,” seperti kapasitas penanganan daya, toleransi pembuatan, dan variasi temperatur (Silaban, 1981).

Resistivitas adalah karakteristik bahan yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Begitu pula sebaliknya apabila nilai resistivitasnya rendah maka akan semakin mudah bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Resistivitas mempunyai pengertian berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya tergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut. Sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri.



Gambar 2.5 Silinder konduktor (Sumber: Alonso dan E.J. Finn, 1980).

Gambar 2.5 memperlihatkan sebuah silinder konduktor yang diberikan beda potensial pada ujung-ujungnya, maka akan ada arus listrik yang mengalir di dalam silinder tersebut. Besarnya arus listrik yang mengalir tersebut tergantung pada suatu besaran yang disebut dengan resistansi listrik ( $R$ ). Resistansi silinder konduktor pada gambar 2.5 dapat dihitung menggunakan persamaan 2.14.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.14)$$

Keterangan:

$\rho$  : resistivitas bahan (tahanan jenis) ( $\Omega m$ )

$L$  : panjang silinder konduktor ( $m$ )

$A$  : luas penampang silinder konduktor ( $m^2$ )

$R_2$  : resistansi ( $\Omega$ )

(Alonso dan E.J. Finn, 1980).

Nilai konduktivitas dan resistivitas suatu bahan memiliki nilai seperti pada tabel berikut ini

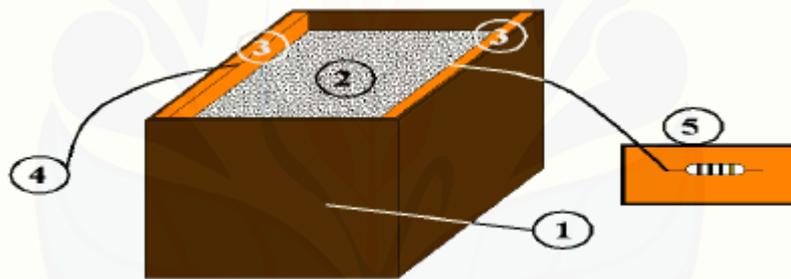
Tabel 2.3 Nilai konduktivitas dan resistivitas bahan

Bahan	Konduktivitas ( $\Omega/m$ )	Resistivitas ( $\Omega m$ )
Asbes: lepas-lepas	0,034	29,40
Asbes: disemprot	0,046	21,75
Lembaran semen asbes: ringan	0,216	4,64
Lembaran semen asbes: sedang	0,360	2,78
Lembaran semen asbes: padat	0,576	1,74
Aspal	0,576	1,74
Batubata biasa: ringan	0,806	1,24
Batubata biasa: sedang	1,210	0,83
Batubata biasa: padat	1,470	0,68
Plester	0,09	1,11
Beton	1,440	0,69
<i>Glass wool</i>	0,034	29,40
<i>Mineral wool</i>	0,037	27,00
Papan gypson	0,159	6,33
Plywood	0,138	7,25
Batu granit	2,920	0,34
Papan dari jerami	0,093	10,75
<i>Softboard</i>	0,065	15,38
Kayu: lunak	0,138	7,25
Kayu: keras	0,160	6,25
Logam: timah	34	0,0294
Logam: baja	58	0,0172
Logam: perunggu	64	0,0156
Logam: seng	110	0,0091
Logam: aluminium	220	0,0045
Logam: tembaga	350	0,0029
Logam: perak	407	0,0024
Udara	0,026	38,45
Air	0,580	1,72

(Sumber : Satwiko, 2004).

## 2.5 Sensor Dengan Metode Resistif

Metode resistif yang digunakan pada penelitian ini adalah rangkaian pembagi tegangan. Pada rangkaian pembagi tegangan  $R_2$  akan diganti dengan agregat halus (pasir), yang mana jika  $R_2$  diganti dengan pasir maka tegangan akan bertambah dengan bertambahnya kadar air pasir, sedangkan pada  $R_1$  diganti dengan resistor. Pada metode resistif ini digunakan dua buah pelat sejajar yang ditempelkan pada kotak akrilik, dibagian tengah pelat sejajar akan diisi sampel agregat halus (pasir), kemudian kotak akrilik dihubungkan dengan rangkaian pembagi tegangan dan diukur tegangannya dengan catu daya sehingga akan terbaca tegangan keluarannya pada multimeter. Metode resistif ini akan berubah tegangannya tergantung kadar air agregat halus (pasir). Metode resistif yang telah dirancang seperti pada gambar 2.6.

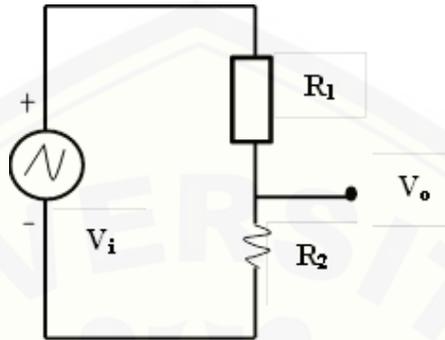


Gambar 2.6 Rancangan sensor dengan metode resistif (Sumber: Utami dan Wildian, 2013).

Keterangan:

- (1) Kotak akrilik
  - (2) Agregat halus (pasir)
  - (3) PCB
  - (4) Kabel konduktor
  - (5) Rangkain pembagi tegangan
- (Utami dan Wildian, 2013).

Apabila keluaran suatu rangkaian dibebani maka pada keluaran rangkaian tersebut dapat terjadi penurunan tegangan atau jatuh tegangan, peristiwa ini disebut pembebanan.



Gambar 2.7 Rangkaian resistor seri (Sumber: Sutrisno, 1986).

Dengan adanya hubungan resistansi dan tegangan maka diperoleh persamaan berikut:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i \quad (2.15)$$

Sehingga diperoleh persamaan resistansi, yaitu :

$$R_1 = \left( \frac{V_i}{V_o} - 1 \right) R_2 \quad (2.16)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.14) ke persamaan (2.16) maka akan memperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\left( \frac{V_i}{V_o} - 1 \right) R_2 = \rho \frac{L}{A} \quad (2.17)$$

Sehingga persamaan resistivitas adalah :

$$\rho = \frac{\left( \frac{V_i}{V_o} - 1 \right) R_2 A}{L} \quad (2.18)$$

Keterangan:

$\rho$  : resistivitas bahan (tahanan jenis) ( $\Omega m$ )

$L$  : panjang silinder konduktor ( $m$ )

$A$  : luas penampang silinder konduktor ( $m^2$ )

$R_2$  : resistansi ( $\Omega$ )

$V_i$  : sinyal tegangan masukan dari osiloskop (*volt*)

$V_0$  : sinyal tegangan keluaran (*volt*)

(Sutrisno, 1986).

## 2.6 Osiloskop

Osiloskop merupakan alat ukur elektronika yang berfungsi memproyeksikan bentuk sinyal baik sinyal analog maupun sinyal digital sehingga sinyal-sinyal tersebut dapat dilihat, diukur, dihitung, dan dianalisa sesuai dengan bentuk keluaran sinyal yang diharapkan. Perangkat elektronika ini memegang peran yang sangat penting dalam bidang perkembangan teknologi karena untuk menciptakan suatu perangkat elektronika dibutuhkan suatu alat ukur yang dapat digunakan untuk menganalisis perangkat yang akan dibuat sehingga perangkat tersebut dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan oleh pembuatnya (Kharisma dan Utama, 2003).

Dalam bidang elektronika, perangkat osiloskop terdapat 2 (dua) tipe, yakni osiloskop analog dan osiloskop digital.

### 1. Osiloskop Analog

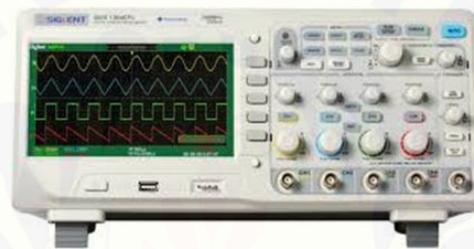


Gambar 2.8 Osiloskop analog (Sumber: Kharisma dan Utama, 2003).

Pada osiloskop analog, pembentuk gelombang yang akan ditampilkan pada layar diatur oleh sepasang lapisan pembelok secara vertikal maupun secara horizontal, pembelokan pancaran elektron dilakukan oleh lapisan tersebut dimana ketika lapisan pembelok tersebut diberi sebuah tegangan tertentu maka akan mengakibatkan pancaran elektron berbelok dengan harga tertentu pula. Sebagai

contoh apabila tegangan pada semua pelat tersebut adalah 0 (nol) Volt, maka pancaran elektron akan bergerak lurus membentur layar sehingga pada layar hanya akan terlihat sebuah nyala titik ditengah layar. Pengaturan tegangan pada lapisan pembelok tersebut akan berkaitan terhadap pengaturan *Time/Div* untuk lapisan pembelok horizontal, dan berkaitan terhadap pengaturan *Volt/Div* untuk lapisan pembelok vertikal.

## 2. Osiloskop Digital



Gambar 2.9 Osiloskop digital (Sumber: Kharisma dan Utama, 2003).

Jika pada osiloskop analog gelombang yang ditampilkan pada layar langsung diberikan dari rangkaian lapisan pembelok pancaran elektron vertikal sehingga berkesan “*real time*”, maka pada osiloskop digital gelombang yang akan ditampilkan terlebih dahulu melalui tahap *sampling* (pencuplikan sinyal) dan kemudian data hasil *sampling* tersebut diolah secara digital. Osiloskop digital menyimpan nilai-nilai tegangan hasil *sampling* tersebut bersama dengan skala waktu gelombangnya pada memori sementara sebelum kemudian ditampilkan. Pada prinsipnya osiloskop digital bekerja dengan cara mencuplik sinyal (*sampling*), menyimpan data, memproses data, kemudian menampilkan data hasil pemrosesan dan kemudian akan berulang kembali seperti itu (Kharisma dan Utama, 2003).

Pada umumnya osiloskop berfungsi untuk menganalisa tingkah laku besaran yang berubah-ubah terhadap waktu yang ditampilkan pada layar, untuk melihat bentuk sinyal yang sedang diamati. Dengan Osiloskop dapat pula mengetahui

beberapa frekuensi, periode dan tegangan dari sinyal. Dengan sedikit penyetelan dapat diketahui mengetahui beda fasa antara sinyal masukan dan sinyal keluaran. Ada beberapa kegunaan osiloskop lainnya (Gunawan, 2011), yaitu:

1. Mengukur besar tegangan listrik dan hubungannya terhadap waktu.
2. Mengukur frekuensi sinyal yang beresilasi.
3. Mengecek jalannya suatu sinyal pada sebuah rangkaian listrik.
4. Membedakan arus AC dengan arus DC.
5. Mengecek *noise* pada sebuah rangkaian listrik dan hubungannya terhadap waktu.

### 2.7 Function Generator

Generator fungsi (*function generator*) merupakan alat pengujian elektronika atau *software* yang digunakan untuk menghasilkan gelombang atau sinyal elektronik, baik yang berulang maupun yang tidak berulang dan digital maupun analog.



Gambar 2.10 *Function generator* (Sumber: Saroso, 2009).

Dalam penggunaan *function generator* selalu berhubungan dengan osiloskop, untuk pertama *function generator* disambungkan dengan osiloskop menggunakan kabel *copling*, kemudian bentuk gelombang pada *function generator* diatur menggunakan sinus, segitiga atau kotak, semua frekuensi dan amplitudo pada *function generator* diatur pada tiap- tiap bagian (Saroso, 2009).

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Penelitian dilakukan diperkirakan mulai bulan Mei sampai September 2016.

### 3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk penelitian analisa kualitas semen melalui pengukuran konstanta dielektrik dan resistivitas ini adalah sebagai berikut:

1. Osiloskop sebagai pengukur tegangan pada semen
2. *Function generator* sebagai sumber tegangan
3. *Project board* sebagai papan rangkaian
4. Kabel sebagai penghubung rangkaian dan penghubung tegangan dengan osiloskop
5. Penggaris sebagai pengukur panjang semen
6. Kapasitansi meter sebagai pengukur nilai kapasitansi

#### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian analisa kualitas semen melalui pengukuran konstanta dielektrik dan resistivitas ini adalah sebagai berikut:

1. Semen sebagai bahan utama penelitian dengan menggunakan 3 merk semen.



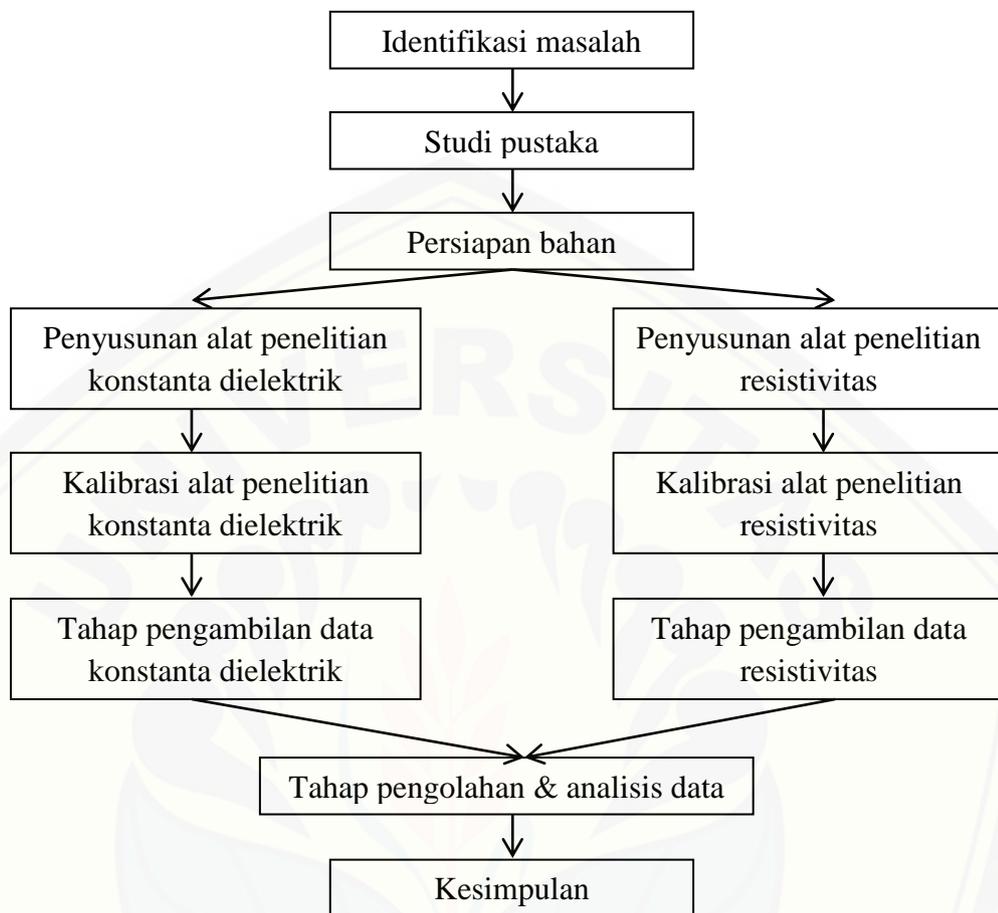
Gambar 3.1 Semen yang digunakan pada penelitian

2. Pasir sebagai bahan campuran semen
3. Air sebagai bahan campuran semen
4. Resistor sebagai komponen rangkaian untuk mengukur resistansi semen
5. Kapasitor sebagai komponen rangkaian untuk mengukur konstanta dielektrik semen
6. PCB sebagai indikasi pelat sejajar

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Diagram Alir

Skema diagram kerja dalam tahapan penelitian analisa kualitas semen melalui pengukuran konstanta dielektrik dan resistivitas ini dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini:



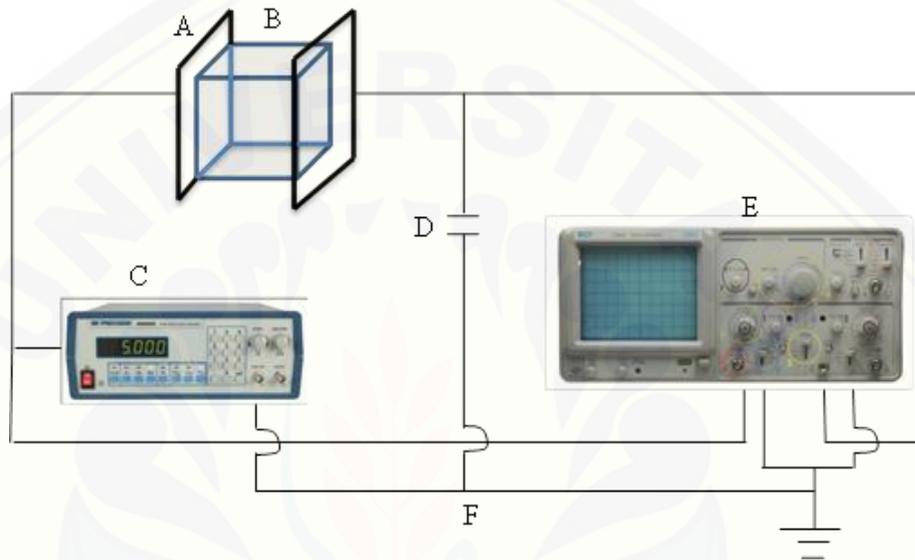
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

### 3.3.2 Tahap Persiapan Bahan

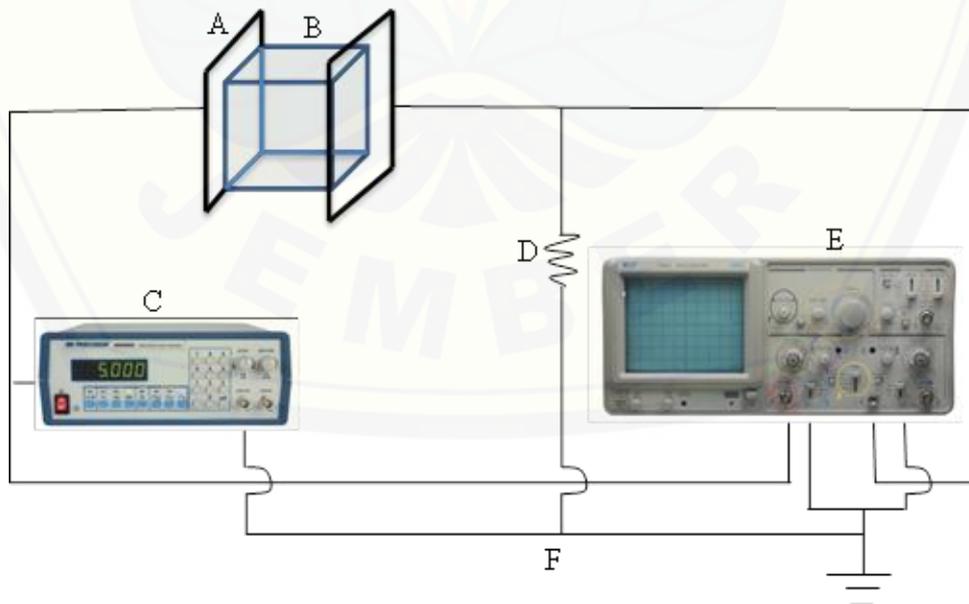
Bahan yang digunakan adalah semen merk A, merk B dan merk C yang dicampur dengan pasir dan juga air sehingga membentuk padatan. Pada pengukuran konstanta dielektrik dan resistivitas dilakukan pengambilan data 1 kali sehari selama 28 hari mulai pada hari ke-1 sampai hari ke-28 pada masing-masing merk semen yang digunakan. Pada penelitian ini, semen yang digunakan berukuran  $3\text{cm} \times 3\text{cm} \times 3\text{cm}$  yang dihasilkan oleh pencampuran dari 30 g semen, 30 g pasir dan 11,7 g air.

### 3.3.3 Penyusunan Alat Penelitian

Alat penelitian dirangkai sedemikian rupa, semen yang sudah dipadatkan diapit oleh dua pelat sejajar kemudian dihubungkan dengan osiloskop untuk mengetahui nilai tegangan pada semen. Adapun desain alat penelitian disusun seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3.3 Desain alat untuk pengukuran nilai konstanta dielektrik pada semen



Gambar 3.4 Desain alat untuk pengukuran nilai resistivitas pada semen

Keterangan:

- A : PCB sebagai kapasitor pelat sejajar
- B : Semen yang sudah dipadatkan
- C : Function generator sebagai sumber tegangan
- D : Rangkaian resistor dan kapasitor seri sebagai pengukur nilai konstanta dielektrik dan resistansi pada semen
- E : Osiloskop sebagai pengukur nilai tegangan pada semen
- F : Kabel penghubung

### 3.3.4 Kalibrasi Alat Penelitian

Setelah dilakukan penyusunan alat seperti gambar 3.3 dan gambar 3.4, langkah selanjutnya adalah kalibrasi alat. Kalibrasi alat dilakukan bertujuan untuk mengetahui desain alat yang digunakan mampu atau tidak untuk melakukan pengukuran konstanta dielektrik dan resistivitas pada semen.

Kalibrasi kapasitansi meter dilakukan dengan cara menghubungkan semen yang diapit oleh dua buah pelat sejajar dengan kapasitansi meter. Setelah kapasitansi meter menunjukkan hasil maka hasil yang diperoleh disesuaikan dengan besar kapasitor yang akan digunakan pada rangkaian. Resistivitas pada penelitian ini dikalibrasi dengan cara menyusun peralatan seperti gambar 3.4, dengan menggunakan resistor yang disesuaikan dengan munculnya gelombang pada osiloskop pada saat penelitian. Osiloskop juga perlu pengkalibrasian, langkah awal yang harus dilakukan adalah memunculkan garis lurus mendatar pada layar osiloskop. Beberapa hal yang perlu diatur adalah fokus, intensitas, kemiringan, *x position* dan *y position*.

### 3.3.5 Proses Pengambilan Data

Pengambilan data pada konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) dilakukan setelah rangkaian tersusun seperti gambar 3.3. Pada tahap pertama semen yang sudah dipadatkan diapit dengan dua pelat sejajar dan dihubungkan dengan kapasitor secara seri,

kemudian tegangan yang muncul pada osiloskop digunakan untuk mencari nilai konstanta dielektrik semen ( $\epsilon_r$ ) dengan menggunakan persamaan 2.12. Nilai konstanta dielektrik semen ( $\epsilon_r$ ) yang sudah diperoleh diukur sebagai Y. Pengukuran konstanta dielektrik semen ( $\epsilon_r$ ) dilakukan 1 kali sehari selama 28 hari, umur (waktu pengeringan) semen diukur sebagai X. Dengan menggunakan data tersebut dapat menentukan grafik hubungan antara konstanta dielektrik semen ( $\epsilon_r$ ) dan umur (waktu pengeringan) semen.

Pengambilan data pada resistivitas ( $\rho$ ) dilakukan setelah rangkaian tersusun seperti gambar 3.4. Semen yang sudah dipadatkan diapit dengan dua pelat sejajar dan dihubungkan dengan resistor secara seri, kemudian tegangan yang muncul pada osiloskop digunakan untuk mencari nilai resistivitas ( $\rho$ ) pada semen dengan menggunakan persamaan 2.18. Nilai resistivitas ( $\rho$ ) pada semen yang sudah diperoleh diukur sebagai Y. Pengukuran resistivitas semen ( $\rho$ ) dilakukan 1 kali sehari selama 28 hari, umur (waktu pengeringan) semen diukur sebagai X. Dengan menggunakan data tersebut dapat menentukan grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) pada semen dan umur (waktu pengeringan) semen.

### 3.4 Analisa Data

Data yang diperoleh digunakan untuk menentukan besarnya konstanta dielektrik semen ( $\epsilon_r$ ) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\epsilon_r = \frac{C_2 d}{\left(\frac{V_i}{V_o} - 1\right) \epsilon_0 A} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$C_2$  : kapasitor ( $F$ )

$\epsilon_0$  : permitivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12} F/m$ )

$A$  : luas permukaan elektroda ( $m^2$ )

$d$  : jarak antar elektroda (atau tebal bahan dielektrik) ( $m$ )

$\epsilon_r$  : konstanta dielektrik bahan

$V_i$  : sinyal tegangan masukan dari osiloskop (*volt*)

$V_o$  : sinyal tegangan keluaran (*volt*)

Data dari setiap pengukuran dapat dianalisa dengan menggunakan ralat standart deviasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta \varepsilon_r = \left| \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial V_i} \right| |\Delta V_i| + \left| \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial V_o} \right| |\Delta V_o| \quad (3.2)$$

$$\Delta \varepsilon_r = \left| \frac{-\left(\frac{\varepsilon_0 A}{V_o}\right)(C_2 d)}{\left(\left(\frac{V_i}{V_o}-1\right)\varepsilon_0 A\right)^2} \right| |\Delta V_i| + \left| \frac{\left(\frac{V_i \varepsilon_0 A}{(V_o)^2}\right)(C_2 d)}{\left(\left(\frac{V_i}{V_o}-1\right)\varepsilon_0 A\right)^2} \right| |\Delta V_o| \quad (3.3)$$

Keterangan :

$\Delta \varepsilon_r$  : standart deviasi nilai konstanta dielektrik

$\partial \varepsilon_r$  : ralat nilai konstanta dielektrik

$\partial V_i$  : ralat tegangan input

$\partial V_o$  : ralat tegangan output

$\Delta V_i$  : standar deviasi tegangan input (*volt*)

$\Delta V_o$  : standar deviasi tegangan output (*volt*)

Untuk menentukan besarnya resistivitas ( $\rho$ ) pada semen dapat diketahui dari persamaan berikut:

$$\rho = \frac{\left(\frac{V_i}{V_o}-1\right)R_2 A}{L} \quad (3.4)$$

Keterangan:

$\rho$  : resistivitas bahan (tahanan jenis) ( $\Omega m$ )

$L$  : panjang silinder konduktor (*m*)

$A$  : luas penampang silinder konduktor ( $m^2$ )

- $R_2$  : resistansi ( $\Omega$ )  
 $V_i$  : sinyal tegangan masukan dari osiloskop (*volt*)  
 $V_o$  : sinyal tegangan keluaran (*volt*)

Data dari setiap pengukuran dapat dianalisa dengan menggunakan ralat standart deviasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta R = \left| \frac{\partial R}{\partial V_i} \right| |\Delta V_i| + \left| \frac{\partial R}{\partial V_o} \right| |\Delta V_o| \quad (3.5)$$

$$\Delta R = \left| \frac{R_2 A}{v_o L} \right| |\Delta V_i| + \left| \frac{-V_i R_2 A}{V_o^2 L} \right| |\Delta V_o| \quad (3.6)$$

Keterangan :

- $\Delta R$  : standart deviasi nilai resistivitas ( $\Omega m$ )  
 $\partial R$  : ralat nilai resistivitas  
 $\partial V_i$  : ralat tegangan input  
 $\partial V_o$  : ralat tegangan output  
 $\Delta V_i$  : standar deviasi tegangan input (*volt*)  
 $\Delta V_o$  : standar deviasi tegangan output (*volt*)

Berdasarkan hasil nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) dan resistivitas ( $\rho$ ) yang diperoleh dari penelitian ini maka analisis yang dapat dilakukan dengan membuat grafik antara nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) dan resistivitas ( $\rho$ ) terhadap umur (waktu pengeringan) campuran semen dan pasir. Hal tersebut digunakan untuk membandingkan karakteristik listrik (konstanta dielektrik dan resistivitas) beberapa merk semen terhadap umur (waktu pengeringan) campuran semen dan pasir.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian analisa kualitas semen melalui pengukuran konstanta dielektrik dan resistivitas adalah sebagai berikut:

1. Konstanta dielektrik pada saat hari ke 1 memiliki nilai yang berbeda yaitu sebesar 2,64 pada semen merk A, 2,32 pada semen merk B dan 2,48 pada semen merk C. Pada hari ke 28 semua merk semen memiliki nilai konstanta dielektrik yang sama yaitu sebesar 0,30. Sedangkan nilai resistivitas pada pada hari ke 1 sebesar  $0,67 \Omega m$  untuk semen merk A,  $0,88 \Omega m$  untuk semen merk B dan  $0,67 \Omega m$  untuk semen merk C, pada hari ke 28 yaitu sebesar  $30,00 \Omega m$  untuk semua merk semen.
2. Nilai konstanta dielektrik minimum dan nilai resistivitas maksimum merepresentasikan pengerasan maksimum semen. Pada pengukuran konstanta dielektrik, semen merk A lebih cepat mencapai pengerasan maksimum yaitu pada hari ke 24 dibanding dengan merk semen yang lainnya. Sedangkan pada pengukuran resistivitas, semen merk C lebih cepat mencapai pengerasan maksimum pada hari ke 27 dibanding dengan merk semen yang lainnya.

### 5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, telah diketahui nilai konstanta dielektrik dan resistivitas pada ketiga merk semen yang digunakan, namun penelitian ini menggunakan metode dengan rangkaian yang tidak praktis dan juga memerlukan waktu yang cukup lama. Berdasarkan hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk melakukan pengukuran yang efektif dan lebih mudah dalam menentukan kualitas semen dengan menggunakan metode dan alat ukur yang lain.

**DAFTAR PUSTAKA**

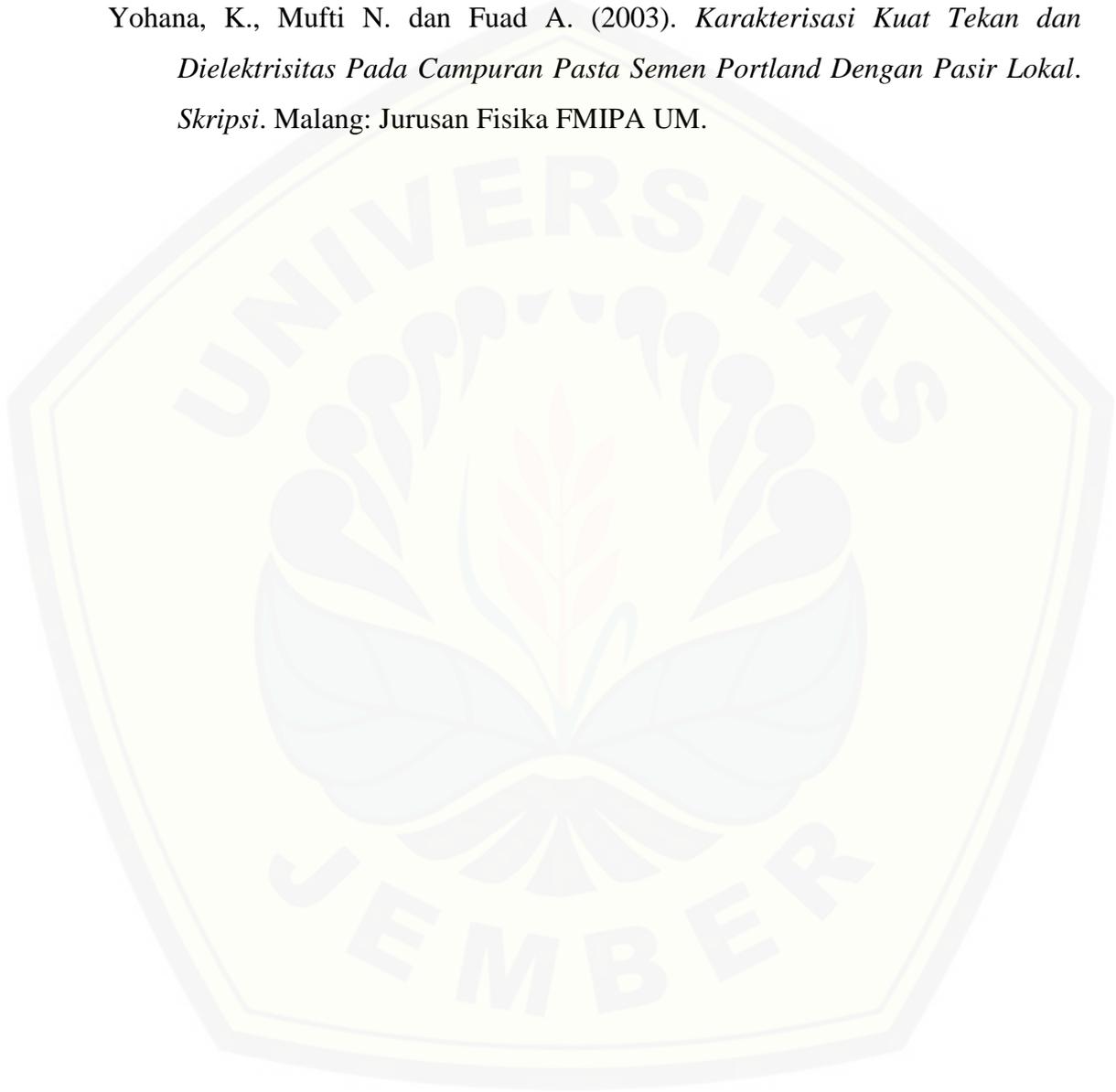
- Alonso, M. dan E. J. Finn. (1980). *Dasar-Dasar Fisika Universitas*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ananda, S. A. dan V. A. Kusumandoyo. (2001). "Penyadapan Saluran Transmisi Dengan Kopleing Kapasitif Untuk Suplai Daerah Terpencil." *Jurnal Teknik Elektro*. **1** (1): 1-8.
- Bisman, P. (2003). *Rancangan kapasitor Meter Digital*. Skripsi. FMIPA: USU.
- Duda, Walter H. (1984). "*Cement Data Book*", *International process Engineering in the cement Industry, 2 nd Edition* . Boverlag Gm Bh. Weis Baden anf Berum, Mc Donald and Evan. London.
- Edward, G dan Nawy, P. E. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Rafika Aditama.
- Gunawan, P.N. (2011). *Osiloskop*. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Halliday, D. (1988). *Fisika Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Hariawan, J. B. (2000). *Pengaruh Perbedaan Karakteristik Type Seme Ordinary Portland Cement (Opc) Dan Portland Composite Cement (Pcc) Terhadap Kuat Tekan Mortar*. Skripsi. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Kamajaya. (1984). *Ringkasan Fisika Edisi Pertama*. Jawa Barat: Ganeca Exact Bandung.
- Kharisma, W. A. and J. Utama. (2013). "Portable Digital Oscilloscope Menggunakan PIC18F4550." *Telekontran*. **1**, (2): 39-40.
- Komisah, S. (2001). *Pembuatan Alat Uji Teknis Sifat Dielektrik Bahan Cair*. Skripsi. Bogor: FMIPA Institut Pertanian Bogor.
- Liu, S.Y., Du, Y.J., Han, L.H., dan Gu, M.F. (2008). *Experimental Study On The Electrical Resistivity of Soil–Cement Admixtures*. *Environmental Geology* **54** : 1227-1233.

- Marappung, M. (1989). *Rangkaian Listrik*. Bandung: Cv. Armico.
- Mulyono, Tri, Ir. M.T. (2004). *Teknologi Beton*. Jogjakarta: Andi.
- Nuwaiir. (2009). *Kajian Impedansi dan Kapasitansi Listrik pada Membran Telur Ayam Ras*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pringadi, R. (1995). “*Teknologi Pembuatan Semen*” PT. Semen Tonasa Biringere Pangkep. Sulawesi Selatan.
- Putra, A., Handayani, G., Satira, S. dan Nugraha, N. (2010). *Resistivitas Campuran Semen dan Resin sebagai Bahan Kedap Air*. Prosiding Seminar dan Rapat Tahunan BKS-PTN Wilayah Barat **23**: 338–341.
- Rusmandi, D. (2001). *Mengenal Komponen Elektronika*. Bandung: Penerbit Pionir Jaya.
- Saroso, D. H. (2009). *Desain Function Generator Berbasis PLD (FPGA)*. Depok: Universitas Indonesia.
- Satwiko, P. (2004). *Fisika Bangunan 2 Edisi 1*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Silaban, P. (1981). *Dasar-Dasar Elektronik Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Soltani, M. Alimardani, R. dan Omid, M. (2010). *Prediction of Banana Quality During Ripening Stage Using Capacitance Sensing System*. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Teheran, Iran. ISSN:1835-2707.
- Sudirham, S. (2002). *Analisis Rangkaian Listrik*. Bandung: Penerbit ITB.
- Sutrisno. (1983). *Fisika Dasar*. Bandung: ITB.
- Sutrisno. (1986). *Elektronika Teori dan Penerapannya*. Bandung: Penerbit ITB.
- Utami, F dan Wildian. (2013). “Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Air Agregat Halus Dalam Pengujian Material Dasar Beton Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535 Dengan Metode Resistif.” *Jurnal Fisika Unand*. **2**, (4).
- William, H. J. Jack, E. K. dan Steven, M. D. (2001). *Engineering Circuit Analysis Sixth Edition*. Tokyo: Mcgraw-Hill.

Wulandari, A. (2008). *Studi Perilaku Kuat Lentur Dan Susut Beton Agregat Daur Ulang*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.

Wuryati, S dan Candra, R. (2001). *Teknologi Beton*. Skripsi. Jogjakarta: Kanisius.

Yohana, K., Mufti N. dan Fuad A. (2003). *Karakterisasi Kuat Tekan dan Dielektrisitas Pada Campuran Pasta Semen Portland Dengan Pasir Lokal*. Skripsi. Malang: Jurusan Fisika FMIPA UM.



## LAMPIRAN

## Lampiran A

## A.1 Nilai konstanta dielektrik pada semen

Data hasil eksperimen pengukuran konstanta dielektrik diberikan dalam tabel A.1.1 sampai A.1.3 dengan  $V_0$  adalah tegangan keluaran pada osiloskop,  $C_1$  adalah kapasitansi bahan dan  $\epsilon_r$  adalah nilai konstanta dielektrik bahan.

## A.1.1 Nilai konstanta dielektrik pada semen merk A

Umur (Hari)	$V_0$ (volt)	$C_1$ (F)	$\epsilon_r$
1	0,68	$7,01 \times 10^{-13}$	$2,64 \pm 0,00$
2	0,6	$6,16 \times 10^{-13}$	$2,32 \pm 0,00$
3	0,56	$5,74 \times 10^{-13}$	$2,16 \pm 0,00$
4	0,52	$5,32 \times 10^{-13}$	$2,01 \pm 0,00$
5	0,48	$4,90 \times 10^{-13}$	$1,85 \pm 0,00$
6	0,44	$4,48 \times 10^{-13}$	$1,69 \pm 0,00$
7	0,4	$4,07 \times 10^{-13}$	$1,53 \pm 0,00$
8	0,4	$4,07 \times 10^{-13}$	$1,53 \pm 0,00$
9	0,36	$3,65 \times 10^{-13}$	$1,38 \pm 0,00$
10	0,36	$3,65 \times 10^{-13}$	$1,38 \pm 0,00$
11	0,28	$2,83 \times 10^{-13}$	$1,07 \pm 0,00$
12	0,28	$2,83 \times 10^{-13}$	$1,07 \pm 0,00$
13	0,28	$2,83 \times 10^{-13}$	$1,07 \pm 0,00$
14	0,24	$2,42 \times 10^{-13}$	$0,91 \pm 0,00$
15	0,24	$2,42 \times 10^{-13}$	$0,91 \pm 0,00$
16	0,2	$2,01 \times 10^{-13}$	$0,76 \pm 0,00$
17	0,2	$2,01 \times 10^{-13}$	$0,76 \pm 0,00$
18	0,16	$1,61 \times 10^{-13}$	$0,61 \pm 0,00$
19	0,16	$1,61 \times 10^{-13}$	$0,61 \pm 0,00$
20	0,16	$1,61 \times 10^{-13}$	$0,61 \pm 0,00$
21	0,12	$1,20 \times 10^{-13}$	$0,45 \pm 0,00$
22	0,12	$1,20 \times 10^{-13}$	$0,45 \pm 0,00$
23	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	$0,30 \pm 0,00$
24	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	$0,30 \pm 0,00$
25	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	$0,30 \pm 0,00$
26	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	$0,30 \pm 0,00$
27	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	$0,30 \pm 0,00$
28	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	$0,30 \pm 0,00$

## A.1.2 Nilai konstanta dielektrik pada semen merk B

Umur (Hari)	V <sub>o</sub> (volt)	C <sub>1</sub> (F)	ε <sub>r</sub>
1	0,6	6,16 x 10 <sup>-13</sup>	2,32±0,00
2	0,6	6,16 x 10 <sup>-13</sup>	2,32±0,00
3	0,56	5,74 x 10 <sup>-13</sup>	2,16±0,00
4	0,56	5,74 x 10 <sup>-13</sup>	2,16±0,00
5	0,52	5,32 x 10 <sup>-13</sup>	2,01±0,00
6	0,48	4,90 x 10 <sup>-13</sup>	1,85±0,00
7	0,44	4,48 x 10 <sup>-13</sup>	1,69±0,00
8	0,4	4,07 x 10 <sup>-13</sup>	1,53±0,00
9	0,36	3,65 x 10 <sup>-13</sup>	1,38±0,00
10	0,32	3,24 x 10 <sup>-13</sup>	1,22±0,00
11	0,32	3,24 x 10 <sup>-13</sup>	1,22±0,00
12	0,28	2,83 x 10 <sup>-13</sup>	1,07±0,00
13	0,28	2,83 x 10 <sup>-13</sup>	1,07±0,00
14	0,28	2,83 x 10 <sup>-13</sup>	1,07±0,00
15	0,24	2,42 x 10 <sup>-13</sup>	0,91±0,00
16	0,24	2,42 x 10 <sup>-13</sup>	0,91±0,00
17	0,24	2,42 x 10 <sup>-13</sup>	0,91±0,00
18	0,24	2,42 x 10 <sup>-13</sup>	0,91±0,00
19	0,2	2,01 x 10 <sup>-13</sup>	0,76±0,00
20	0,16	1,61 x 10 <sup>-13</sup>	0,61±0,00
21	0,16	1,61 x 10 <sup>-13</sup>	0,61±0,00
22	0,12	1,20 x 10 <sup>-13</sup>	0,45±0,00
23	0,12	1,20 x 10 <sup>-13</sup>	0,45±0,00
24	0,12	1,20 x 10 <sup>-13</sup>	0,45±0,00
25	0,08	8,02 x 10 <sup>-14</sup>	0,30±0,00
26	0,08	8,02 x 10 <sup>-14</sup>	0,30±0,00
27	0,08	8,02 x 10 <sup>-14</sup>	0,30±0,00
28	0,08	8,02 x 10 <sup>-14</sup>	0,30±0,00

## A.1.3 Nilai konstanta dielektrik pada semen merk C

Umur (Hari)	$V_0$ (volt)	$C_1$ (F)	$\epsilon_r$
1	0,64	$6,59 \times 10^{-13}$	2,48±0,00
2	0,6	$6,16 \times 10^{-13}$	2,32±0,00
3	0,6	$6,16 \times 10^{-13}$	2,32±0,00
4	0,56	$5,74 \times 10^{-13}$	2,16±0,00
5	0,56	$5,74 \times 10^{-13}$	2,16±0,00
6	0,52	$5,32 \times 10^{-13}$	2,01±0,00
7	0,44	$4,48 \times 10^{-13}$	1,69±0,00
8	0,4	$4,07 \times 10^{-13}$	1,53±0,00
9	0,36	$3,65 \times 10^{-13}$	1,38±0,00
10	0,36	$3,65 \times 10^{-13}$	1,38±0,00
11	0,32	$3,24 \times 10^{-13}$	1,22±0,00
12	0,32	$3,24 \times 10^{-13}$	1,22±0,00
13	0,32	$3,24 \times 10^{-13}$	1,22±0,00
14	0,28	$2,83 \times 10^{-13}$	1,07±0,00
15	0,28	$2,83 \times 10^{-13}$	1,07±0,00
16	0,28	$2,83 \times 10^{-13}$	1,07±0,00
17	0,28	$2,83 \times 10^{-13}$	1,07±0,00
18	0,24	$2,42 \times 10^{-13}$	0,91±0,00
19	0,24	$2,42 \times 10^{-13}$	0,91±0,00
20	0,2	$2,01 \times 10^{-13}$	0,76±0,00
21	0,12	$1,20 \times 10^{-13}$	0,45±0,00
22	0,12	$1,20 \times 10^{-13}$	0,45±0,00
23	0,12	$1,20 \times 10^{-13}$	0,45±0,00
24	0,12	$1,20 \times 10^{-13}$	0,45±0,00
25	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	0,30±0,00
26	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	0,30±0,00
27	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	0,30±0,00
28	0,08	$8,02 \times 10^{-14}$	0,30±0,00

Keterangan:

Tegangan masukan ( $V_{in}$ ) : 22 volt

Kapasitor ( $C_2$ ) :  $22 \times 10^{-12}$  F

Jarak antar pelat (d) :  $3 \times 10^{-2}$  m

Permitivitas ruang hampa ( $\epsilon_0$ ) :  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m

Luas penampang (A) :  $9 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>

## A.2 Nilai resistivitas pada semen

Data hasil eksperimen pengukuran resistivitas diberikan dalam tabel A.2.1 sampai A.2.3 dengan  $V_o$  adalah tegangan keluaran pada osiloskop,  $R_1$  adalah resistansi bahan dan  $\rho$  adalah nilai resistivitas bahan.

A.2.1 Nilai resistivitas pada semen merk A

Umur (Hari)	$V_{out}$ (Volt)	$R_1$ ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega m$ )
1	18	22	0,67±0,00
2	16	38	1,13±0,00
3	15	47	1,40±0,00
4	14	57	1,71±0,00
5	13	69	2,08±0,00
6	13	69	2,08±0,00
7	12	83	2,50±0,00
8	11	100	3,00±0,00
9	11	100	3,00±0,00
10	11	100	3,00±0,00
11	11	100	3,00±0,00
12	10	120	3,60±0,00
13	10	120	3,60±0,00
14	9	144	4,33±0,00
15	8	175	5,25±0,00
16	8	175	5,25±0,00
17	8	175	5,25±0,00
18	7	214	6,43±0,00
19	6	267	8,00±0,00
20	6	267	8,00±0,00
21	5	340	10,20±0,00
22	5	340	10,20±0,00
23	4	450	13,50±0,00
24	4	450	13,50±0,00
25	4	450	13,50±0,00
26	3	633	19,00±0,00
27	3	633	19,00±0,00
28	2	1000	30,00±0,00

## A.2.2 Nilai resistivitas pada semen merk B

Umur (Hari)	Vout (Volt)	R <sub>1</sub> (Ω)	ρ (Ωm)
1	17	29	0,88±0,00
2	16	38	1,13±0,00
3	15	47	1,40±0,00
4	15	47	1,40±0,00
5	14	57	1,71±0,00
6	14	57	1,71±0,00
7	13	69	2,08±0,00
8	11	100	3,00±0,00
9	11	100	3,00±0,00
10	11	100	3,00±0,00
11	10	120	3,60±0,00
12	10	120	3,60±0,00
13	9	144	4,33±0,00
14	8	175	5,25±0,00
15	7	214	6,43±0,00
16	7	214	6,43±0,00
17	7	214	6,43±0,00
18	7	214	6,43±0,00
19	6	267	8,00±0,00
20	6	267	8,00±0,00
21	6	267	8,00±0,00
22	5	340	10,20±0,00
23	5	340	10,20±0,00
24	4	450	13,50±0,00
25	4	450	13,50±0,00
26	3	633	19,00±0,00
27	3	633	19,00±0,00
28	2	1000	30,00±0,00

## A.2.3 Nilai resistivitas pada semen merk C

Umur (Hari)	V <sub>out</sub> (Volt)	R <sub>1</sub> (Ω)	ρ (Ωm)
1	18	22	0,67±0,00
2	17	29	0,88±0,00
3	17	29	0,88±0,00
4	16	38	1,13±0,00
5	15	47	1,40±0,00
6	14	57	1,71±0,00
7	14	57	1,71±0,00
8	13	69	2,08±0,00
9	12	83	2,50±0,00
10	12	83	2,50±0,00
11	11	100	3,00±0,00
12	11	100	3,00±0,00
13	10	120	3,60±0,00
14	9	144	4,33±0,00
15	8	175	5,25±0,00
16	8	175	5,25±0,00
17	8	175	5,25±0,00
18	7	214	6,43±0,00
19	7	214	6,43±0,00
20	7	214	6,43±0,00
21	6	267	8,00±0,00
22	6	267	8,00±0,00
23	5	340	10,20±0,00
24	5	340	10,20±0,00
25	4	450	13,50±0,00
26	3	633	19,00±0,00
27	2	1000	30,00±0,00
28	2	1000	30,00±0,00

Keterangan:

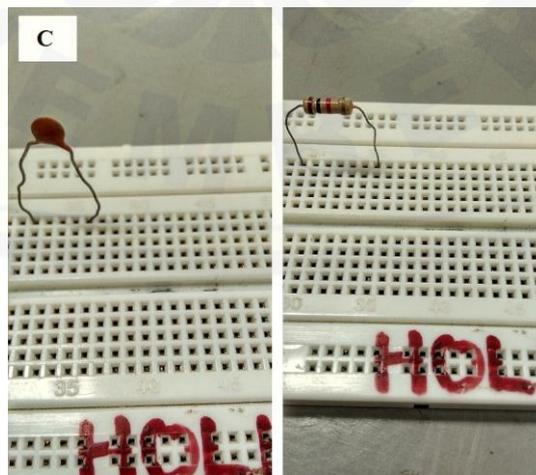
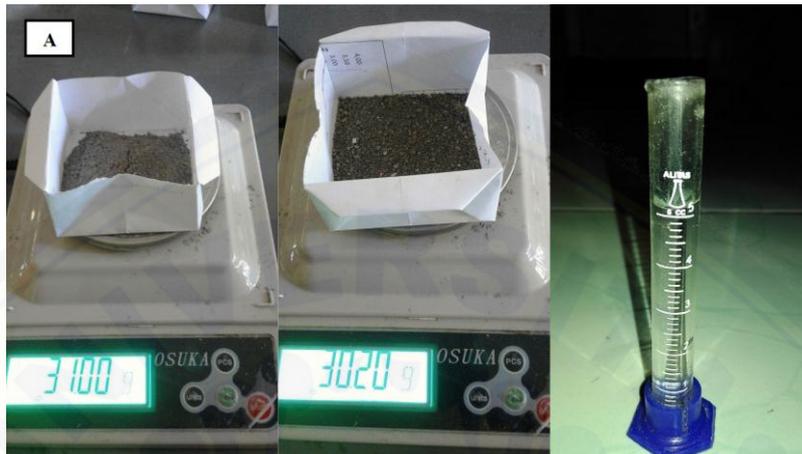
Tegangan masukan (V<sub>in</sub>) : 22 volt

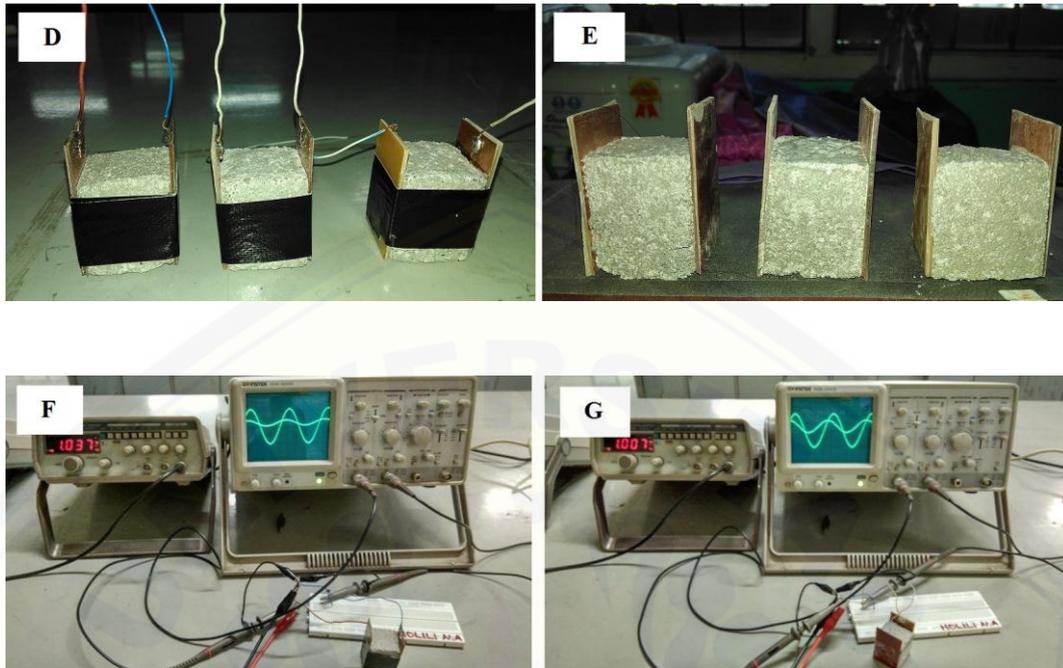
Resistor (R<sub>2</sub>) : 100 Ω

Luas penampang (A) : 9 x 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>

Panjang pelat (L) : 3 x 10<sup>-2</sup> m

Lampiran B. Alat, bahan dan rangkaian penelitian





Keterangan:

A : Semen, pasir dan air yang digunakan untuk bahan penelitian

B : Proses pencampuran bahan dan pembentukan semen

C : Kapasitor  $22 \text{ pF}$  dan resistor  $100 \Omega$

D : Padatan semen untuk pengukuran nilai konstanta dielektrik

E : Padatan semen untuk pengukuran nilai resistivitas

F : Pengukuran nilai konstanta dielektrik

G : Pengukuran nilai resistivitas