

Struktur organisasi  
Membuat laporan  
Membuat rencana  
Membuat jadwal pelaksanaan  
Membuat laporan kemajuan

Penelitian dan pengembangan  
Membuat laporan  
Membuat rencana  
Membuat jadwal pelaksanaan  
Membuat laporan kemajuan

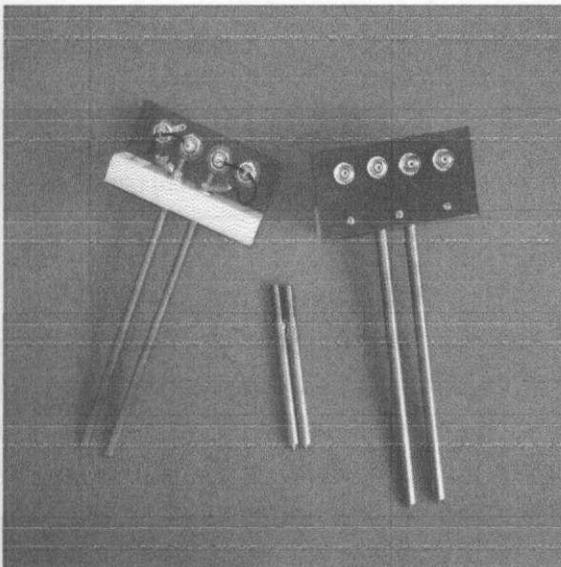
Penelitian dan pengembangan  
Membuat laporan

#### BAB IV. HASIL DAN DISKUSI

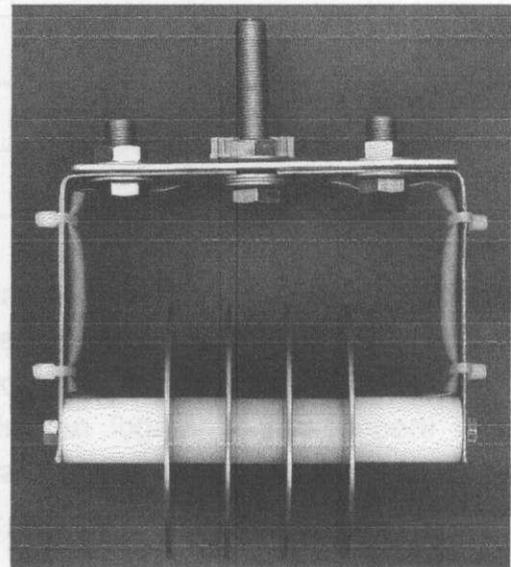
Rancangan riset yang akan dilakukan mengikuti pola *Eksperimental semu (quasi experimental)*. Pola ini dipilih karena riset ini menghubungkan antara teori dan praktek. Jadi untuk riset ini mula-mula dibuat desain sistem berdasarkan teori yang ada. Selanjutnya dilakukan implementasi desain tersebut melalui eksperimen di laboratorium. Adapun kegiatan penelitian adalah sebagai berikut:

#### IV.1. Pembuatan Sensor Soil Moisture

Pada bagian ini akan dilakukan desain dan pembuatan sensor serta menyiapkan susunan percobaan sehingga diperoleh suatu bentuk pengukuran yang standar. Untuk memperoleh informasi yang berkenaan dengan tingkat kelembaban tanah telah dirancang probe sensor dengan sambungan kontak pendek sehingga pengaruh panjang kabel terhadap kesalahan pengukuran dapat di hindari. Untuk memperoleh hasil pengukuran yang optimum maka bentuk dan geometri sensor di bagi menjadi 2 tipe yaitu electrode silinder ganda (stab electrode) dan electrode cakram parallel seperti diperlihatkan pada gambar 12 berikut ini.



(a)



(b)

Gambar 12a. Sensor kelembaban tanah (SMS) dengan elektroda silinder ganda, (b) elektroda tipe cakram

Pada sensor tipe (a) mempunyai kelebihan yaitu memudahkan untuk penetrasi ke dalam objek ukur yaitu tanah dengan cara menekan ke dalam tanah,

dan dalam penetrasi juga mempengaruhi pengukuran kelembaban tanah. Besarnya tingkat penetrasi dipengaruhi oleh penggunaan tanah (top soil) untuk lahan perkebunan dan pertanian tanaman pangan. Sebagai contoh, untuk tanaman sayur-sayuran berkisar antara 100-200mm penetrasi dari permukaan tanah. Oleh karena itu sonde sensor dirancang dengan panjang maksimum 200mm.

Adapun data teknis berkenaan dengan geometri sensor yang dipergunakan pada penelitian ini diperlihatkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Data Teknis Sensor Kelembaban Tanah

Spesifikasi	Sensor 1	Sensor S2	Sensor S3	Sensor S4	Sensor S5
Tipe Sensor	Sonde ganda	Sonde ganda	Sonde ganda	Sonde ganda	Cakram
Bahan sensor	kuningan	kuningan	kuningan	kuningan	kuningan
Panjang sonde (mm)	100	200	200	190	x
Diameter sonde (mm)	10	10	7	4	x
Dudukan sonde	teflon	teflon	teflon	teflon	nilon
Ketebalan pelat (mm)	x	x	x	x	2
Diameter cakram (mm)	x	x	x	x	100
Koneksi terminal	BNC	BNC	BNC	BNC	4-pair
Baut Pegangan (mm)	x	x	x	x	10

Bahan logam yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah kuningan (brass) dengan variasi diameter silinder seperti diperlihatkan pada tabel 2 dan untuk pelat cakram parallel dibuat dari pelat kuningan dengan ketebalan 1-2mm. Bahan kuningan memiliki kelebihan dibandingkan logam lainnya seperti besi stainless steel, alumunium atau tembaga yaitu disamping relative kuat untuk dipenetrasi ke dalam bumi, kuningan relative lebih tahan terhadap factor korosif dari tanah.

Sementara sonde dengan pelat parallel lebih ditujukan untuk penelitian berikutnya dan didesain sedemikian rupa agar dapat dipasangkan dengan traktor mini untuk mengukur kelembaban tanah. Kedua elektroda dipasang pada pelat Teflon dengan ketebalan 12 mm dan diberi sambungan konektor BNC mempergunakan papan rangkaian tercetak (PCB). Besarnya kapasitansi sensor electrode ganda seperti pada gambar 7a adalah sebesar [Hering et al, 1989]:

$$C_0 = \varepsilon_0 \cdot \frac{\pi \cdot l}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)} \quad (25)$$

Dimana  $\varepsilon_0$  adalah konstanta medan listrik dengan nilai  $8,854 \cdot 10^{-12} \text{CV}^{-1}\text{m}^{-1}$ , dengan  $l$  adalah panjang elektroda,  $r$  adalah jejari elektroda dan  $d$  adalah jarak tengah kedua elektroda. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan LCR meter DLIN tipe 4070D diperoleh harga  $C_0$  13,6 – 16,8pF.

Harga ini ditentukan tidak saja dari susunan geometri ke dua elektroda silinder tetapi juga ditentukan oleh pelat Teflon dan sambungan dari elektroda ke konektor BNC.

## IV.2. Bahan Sampel Tanah

Pada bagian ini dilakukan pengambilan dan penyiapan sampel tanah standar yang memenuhi syarat seperti dinyatakan dalam literatur. Sampel tanah dengan berbagai kelembaban diusahakan bervariasi dan akan dicoba juga sampel dari tanah gambut yang banyak terdapat di Sumatera. Untuk tanah gambut di pantai Sumatera memiliki kelembaban yang sangat tinggi dan cenderung seperti tanah berawa. Adapun lokasi pengambilan sampel tanah yang akan disiapkan menjadi tanah sampel adalah sebagai berikut:

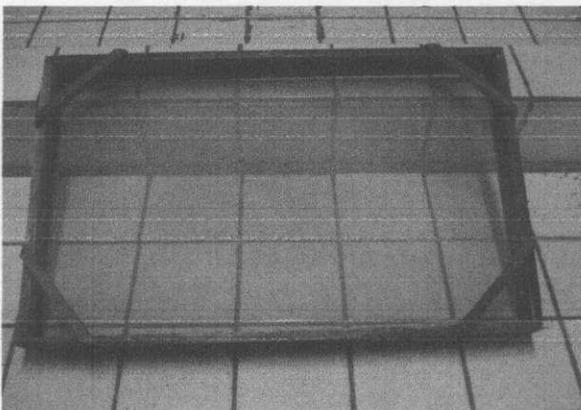
### IV.2.1. Lokasi Pengambilan Sampel

1. Tanah jenis Inseptisol atau tanah yang berkembang, diambil dari kebun percobaan UPT Fakultas Pertanian Universitas Riau. Di lokasi ini tanah jenis Inseptisol dipergunakan juga sebagai tanah untuk pembibitan kelapa sawit dan juga sebagai lahan perkebunan sayur kualitas ekspor ke Singapura di bawah pengawasan dari Fakultas Pertanian Universitas Riau. Di samping itu tanah Inseptisol juga terdapat di beberapa tempat dan dipergunakan umumnya sebagai tempat dan lahan pertanian sayuran pangan.
2. Tanah jenis Entisol, diambil di daerah Garuda Sakti Kab. Kampar, Riau. Sifat tanah ini yaitu butiran tanahnya (grain size) lebih kasar dan bersifat bermineral dan umumnya banyak terdapat di daerah Riau yang kaya mineral. Jenis tanah ini relative tidak cocok untuk lahan pertanian. Namun demikian, kebanyakan petani dengan tingkat pengetahuan yang kurang tentang tanah kurang memperhatikan factor ini sehingga berimplikasi kepada optimalisasi hasil pertanian.

3. Tanah jenis Andisol, diambil dari lokasi daerah pertanian Alahan Panjang, Kab. Solok Sumatera Barat. Tanah berasal dari abu vulkanik Gunung Talang dan umumnya terdapat di daerah barat Sumatera. Jenis ini sangat baik sebagai tanah untuk lahan pertanian.
4. Tanah Ultisol, diambil dari daerah Rimba Melintang Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau.
5. Tanah jenis Gambut, diambil dari lokasi daerah Gambut Siak Hulu yang berada di seputaran wilayah pertanian Pekanbaru dan kampus UNRI. Jenis tanah ini memiliki factor keasaman yang tinggi dan umumnya dipergunakan sebagai lahan kelapa sawit. Disamping itu jenis tanah gambut relative memiliki serat fibrik yang lebih jelas.

#### IV.2.2. Penyiapan Sampel Tanah

Tanah sample yang telah di ambil dari masing lokasi kemudian dibersihkan dari sisa-sisa tanaman, mahluk hidup dan kotoran yang terbawa pada saat pengambilan. Kemudian masing-masing tanah dibersihkan dan disaring mempergunakan ayakan (saringan) yang terdiri atas dua bagian yaitu saringan tanah berukuran panjang 50 cm dan lebar 30 cm dengan diberi kawat parabola berukuran lubang rata-rata 2mm. Tanah yang telah bersih dari ayakan/saringan pertama kemudian di saring mempergunakan saringan ke dua yang standar dengan tingkat grain tertentu. Pada penelitian ini dipergunakan Fison Scientific Sieve berukuran 1-3 Mesh, lihat gambar 13 berikut.



(a)



(b)

Gambar 13. (a). Saringan yang dipergunakan untuk mengayak tanah sampel dengan kawat 2mm dan (b) berukuran 1-3 mesh

Setelah dilakukan penyaringan/pengayakan maka tanah siap dikeringkan pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam [DIN 18125 T1]. Oven yang digunakan adalah dari perusahaan Heraeus Instrumen dengan kemampuan suhu pengeringan maksimal  $300^{\circ}\text{C}$ . Untuk mempercepat pengeringan tanah sample maka tanah ditempatkan dalam wadah pelat aluminium yang bersifat sebagai pengantar yang baik di dalam oven dan disusun berlapis-lapis seperti diperlihatkan pada gambar 14 berikut ini.



Gambar 14. Proses pengeringan tanah sample di dalam oven

Sebagai pembandingan tingkat kelembaban tanah awal sebelum diberi perlakuan maka tanah sebelum dioven terlebih dahulu ditimbang berat tanah dan setelah dioven tanah kembali ditimbang untuk mengetahui mengetahui berat tanah setelah dioven.

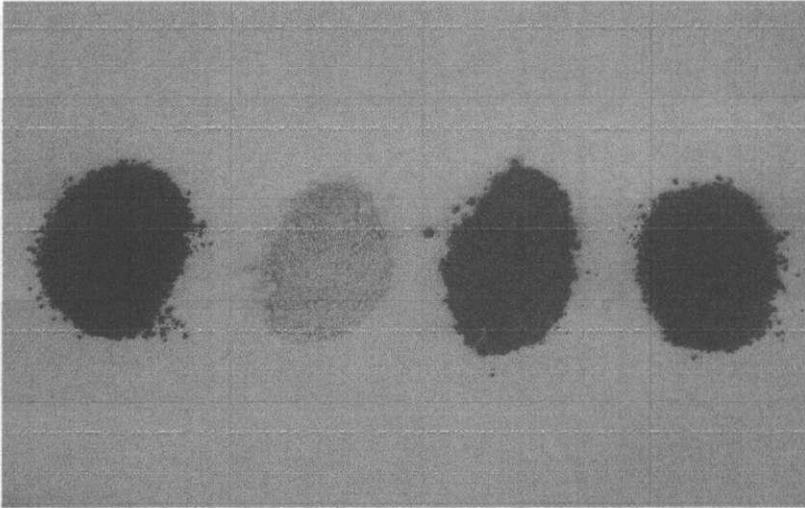
Tabel 3. Berat tanah sample setelah pemanasan 105° dan 24 jam

No	Jenis Tanah	Berat (Gr)		Kelembaban (%)
		Berat Awal	Berat Kering	
1.	Inseptisol	4.000	3.340	16,50
2.	Entisol	4.000	3.590	10,25
3.	Andisol	4.000	2.220	44,50
4.	Ultisol	4.000	3.350	16,25
5.	Gambut	2.000	740	63,10

Data yang diperoleh dari masing-masing lokasi tanah merupakan tingkat kelembaban tanah pada saat sample diambil dan tidak menggambarkan kelembaban pada setiap saat. Faktor kelembaban banyak dipengaruhi oleh factor tanah sendiri seperti ukuran butiran tanah (grain size), kerapatan tanah, penyebaran besar tanah, ketergantungan volume material berporosi ini. Makin halus ukuran butiran tanah maka makin besar permukaan spesifik tanah sehingga akan makin besar kemampuan tanah untuk menyimpan air.

Hasil pengeringan tanah setelah di keringkan siap untuk diberi air untuk memperoleh tingkat kelembaban terdefinisi, gambar 15. Sebelum tanah diberi perlakuan tersebut dan diukur impedansinya maka tanah disimpan dalam wadah tertutup untuk menjaga tingkat kekeringan tanah dan kontaminasi dengan udara luar yang akan menambah kebasahan tanah serta disimpan pada tempat terlindung dari cahaya matahari untuk menghindari kondensasi udara pada wadah, gambar 16.

Untuk melihat pengaruh perubahan kelembaban (tektik) tanah sebelum dan sesudah pemberian air maka dilakukan pengujian menggunakan LCR 1000. Sebelum diuji tanah, dibagi menjadi 5 bagian yang dibekukan dalam 5 buah plastik plastik dengan tebalnya 140mm dan diameter 165 mm dengan menggunakan alat untuk masing-masing sampel sebanyak 2.500gr. Setelah dibagi menjadi 5 sampel, masing-masing sampel tanah jenis Entisol diberi kelembaban terdefinisi dengan member air 230, 469, 575, 900gr dan 825 gr sehingga



Gambar 15. Tanah yang telah siap menjadi sample pengukuran, dari kiri ke kanan: tanah gambut, entisol, inceptisol dan andisol



Gambar 16. Penyimpanan tanah sample dalam masing-masing wadah

#### IV.3. Pengukuran Sampel Tanah Dengan Mempergunakan LCR Meter

Untuk melihat pengaruh perubahan karakteristik dielektrik tanah akibat perubahan kelembaban tanah maka dilakukan pengujian mempergunakan LCR meter. Sebelum diuji tanah dibagi menjadi 5 bagian yang diletakan dalam 5 buah wadah plastik bening yang tingginya 140mm dan diameter 165 mm dengan massa tanah untuk masing-masing sampel sebanyak 2.300gr. Setelah dibagi menjadi 5 sampel, masing-masing sampel tanah jenis Entisol diberi kelembaban yang berbeda dengan memberi air 230, 4.60, 575, 690gr dan 805 gr sehingga

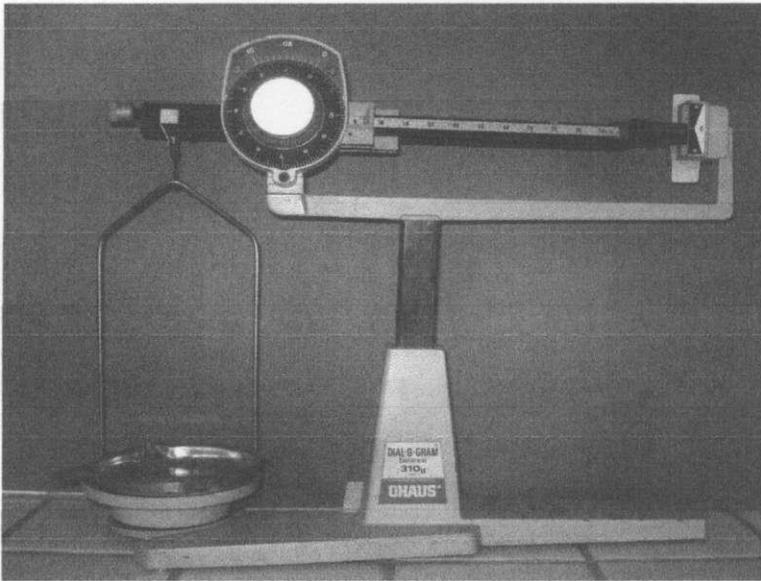
diperoleh kelembaban sebesar 20-50%. Sementara air yang digunakan adalah air sumur dangkal dengan asumsi sifat kimia air sumur dangkal dan air yang membasahi tanah mempunyai sifat yang tidak jauh berbeda.



Gambar 17. Sampel tanah dengan kelembaban bervariasi 20, 30, 40, 45, 50%

Air ditimbang dengan menggunakan timbangan OHAUS kapasitas 310 gr. Air dimasukkan di dalam gelas ukur yang berukuran 100mm setelah isi ditimbang. Sebelumnya massa gelas ukur ditimbang jadi massa air = massa yang ditimbang – massa gelas ukur. Air yang diberikan untuk sampel tanah agar air tidak menumpuk maka dilakukan dengan menggunakan pipet tetes. Supaya penyebaran air merata dan kemudian sampel tanah dibiarkan selama 24 jam agar semua pori-pori tanah dapat terisi dengan air.

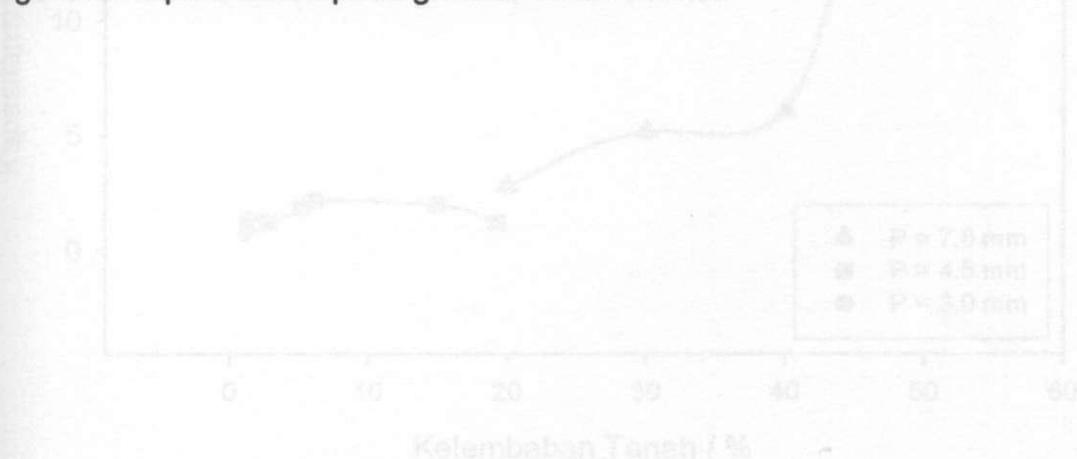
Perubahan nilai kapasitas dan resistansi tanah akibat perubahan konsentrasi air terlarut di dalam tanah sebelum pengukuran impedansi dilakukan maka dilakukan proses pengukuran mempergunakan LCR meter tipe DLIN tipe 4070D.



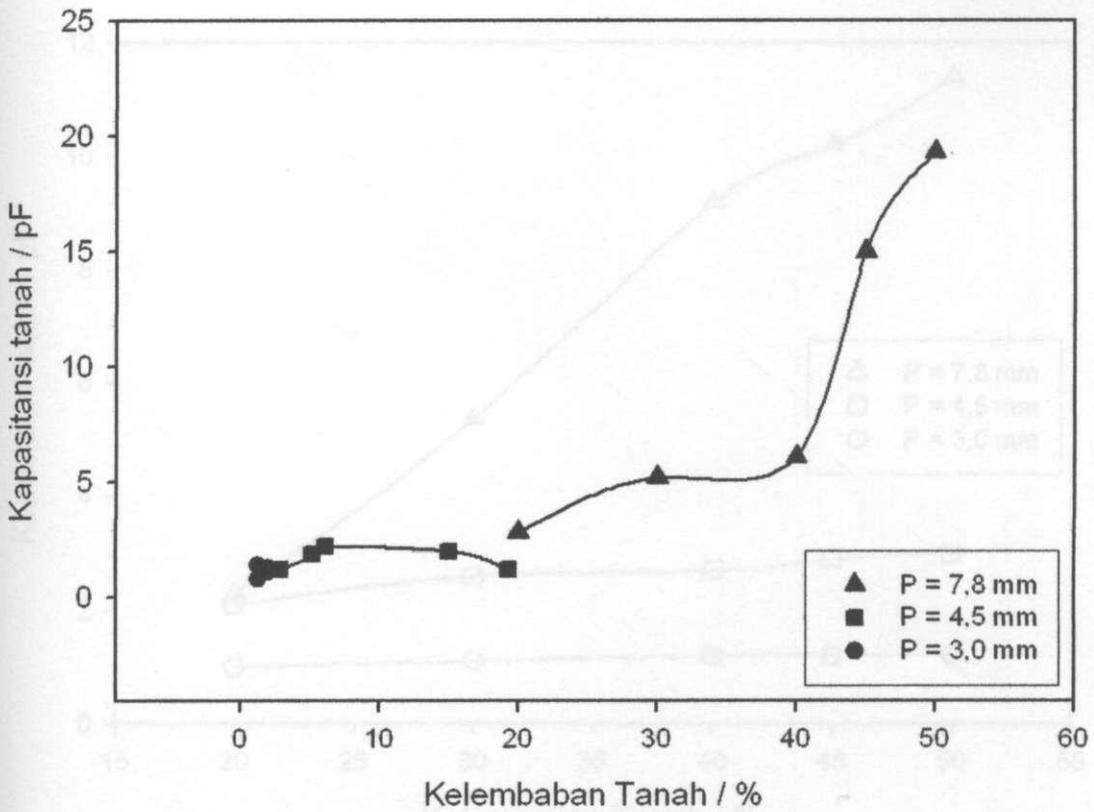
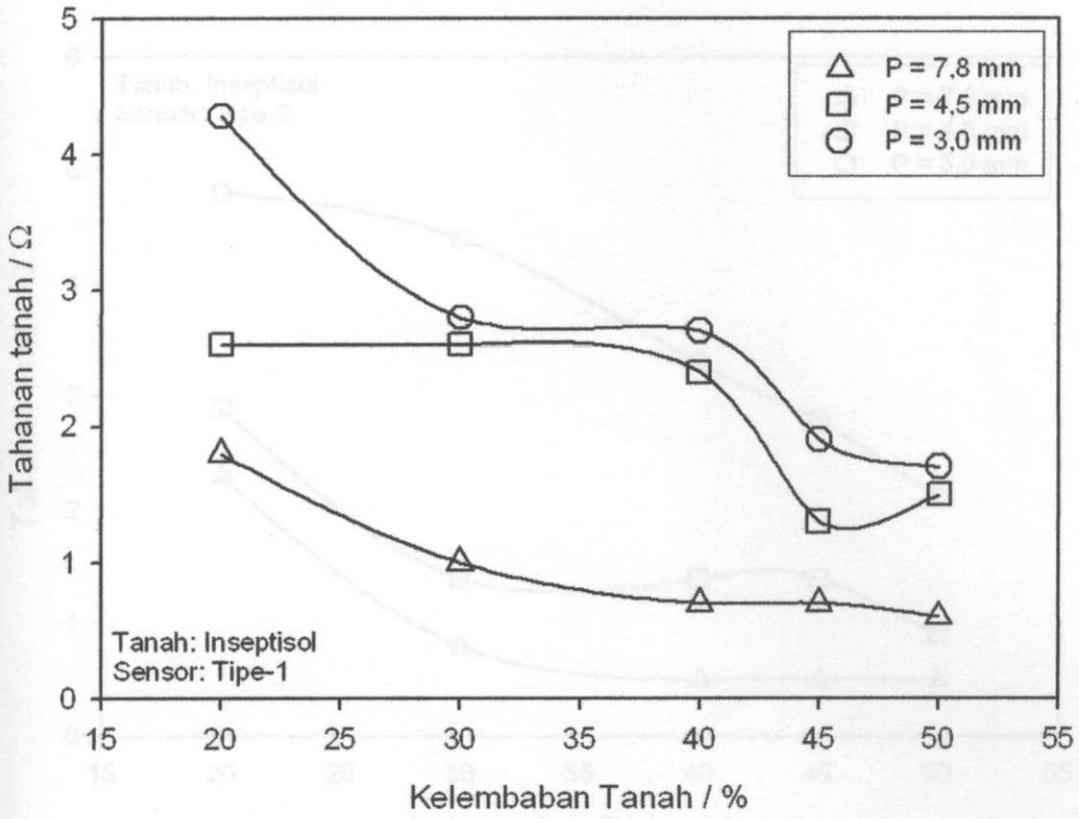
Gambar 18. Timbangan OHAUS kapasitas 310 gr

Untuk pengukuran resistansi dan kapasitansi tanah LCR meter dan multimeter dihubungkan ke sensor, selanjutnya sensor ditancap ke tanah yang sudah diberi kelembaban tertentu, sensor yang ditancapkan dapat divariasikan ke dalamnya. Setelah ditancapkan kita dapat membaca nilai resistansinya dari nilai multimeter dan kapasistansinya dapat dibaca dari alat LCR meter. Jenis probe sensor yang diuji terdiri dari 3 jenis sensor yaitu sensor tipe 1: dengan panjang ( $l$ ) = 100mm dan diameter 6.5 mm, sensor tipe 2 dengan panjang = 190 mm dan diameter 4mm dan sensor tipe 3 dengan panjang = 205 mm dan diameter = 7 mm.

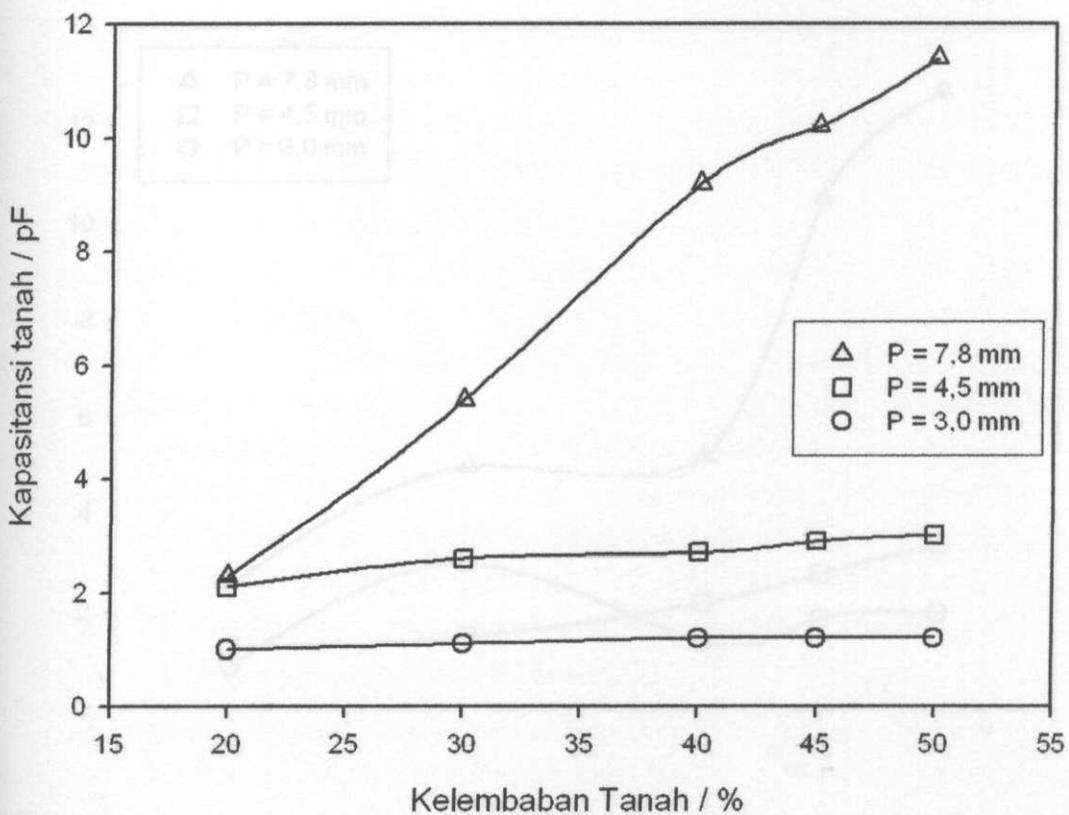
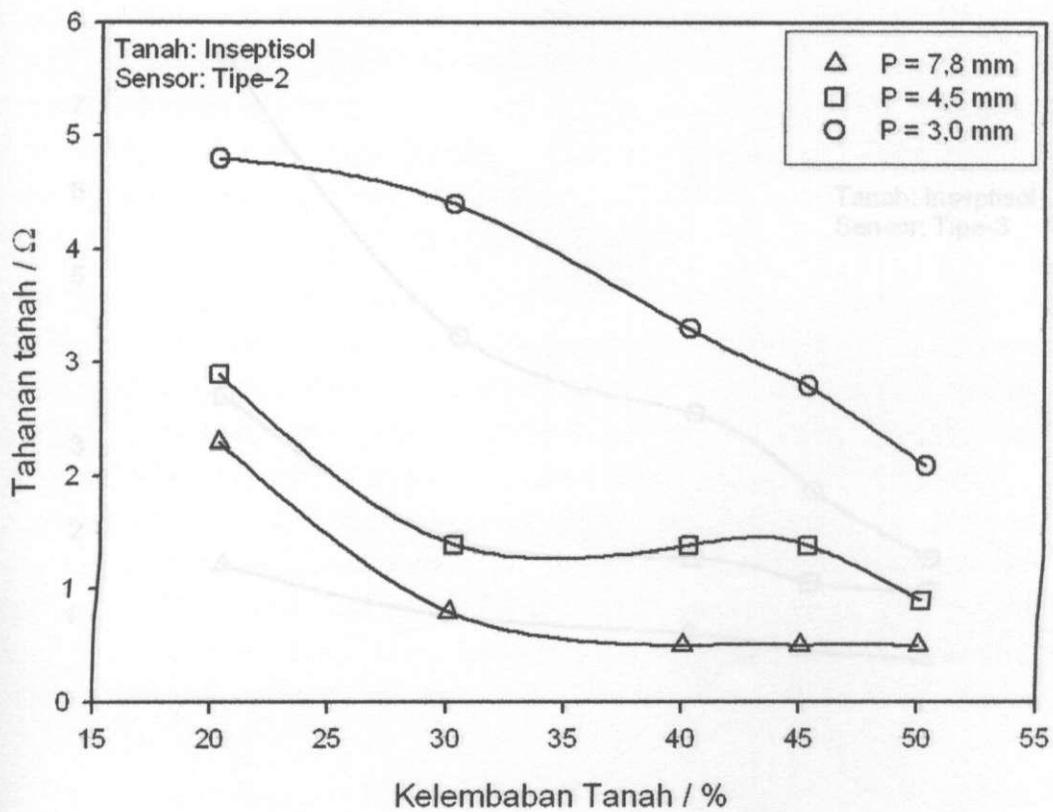
Sensor kemudian diukur dengan LCR meter dan dihitung nilai R dan C untuk masing-masing tipe sensor, pada berbagai variasi kelembaban  $\theta$  dan tingkat kedalaman penetrasi P ke dalam tanah sampel. Hasil dari masing-masing pengukuran diperlihatkan pada gambar 19-21 berikut.



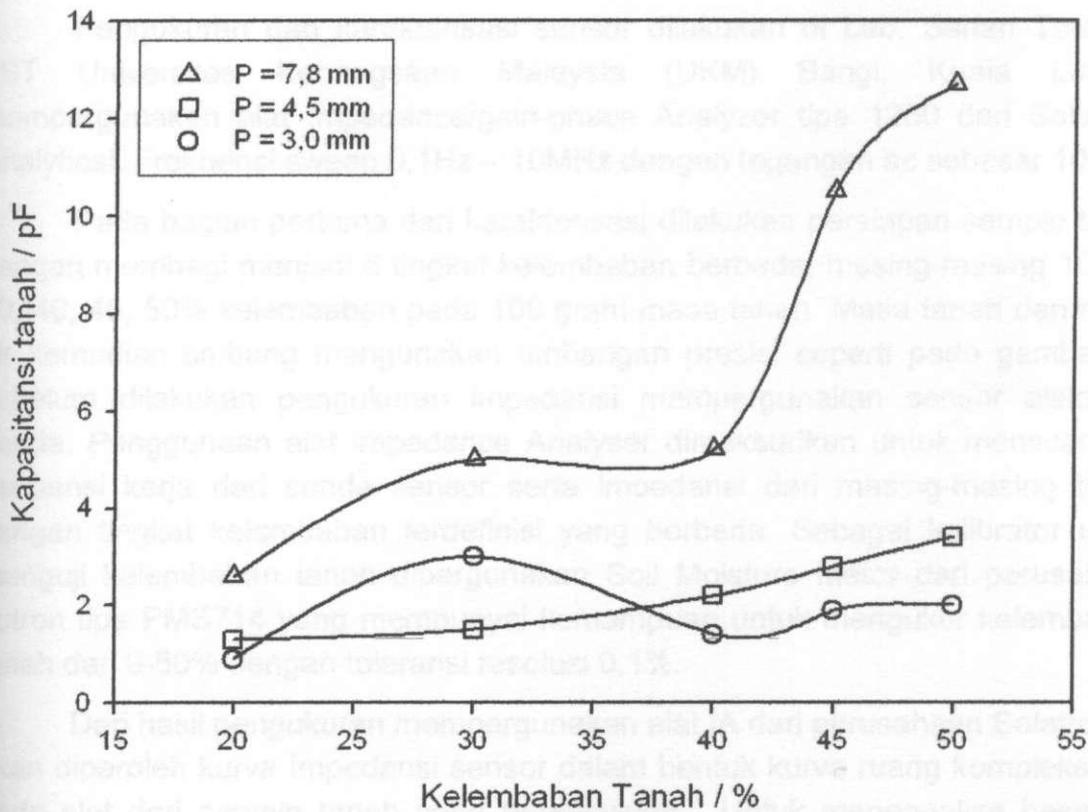
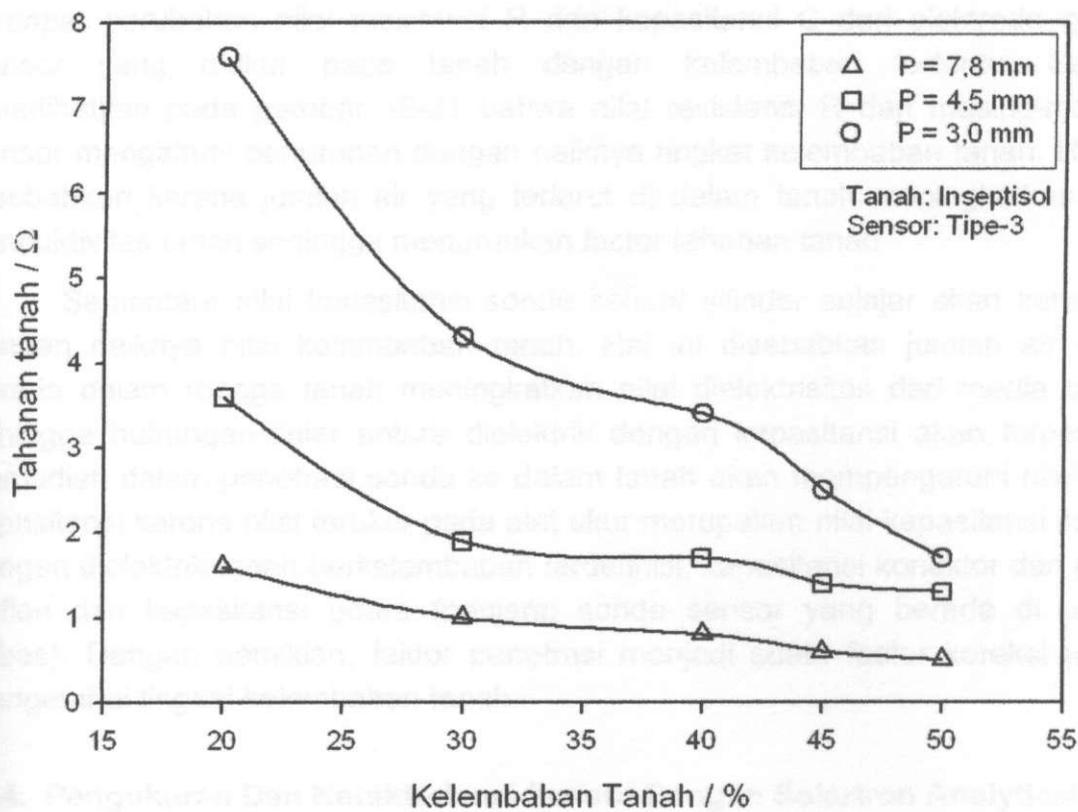
Gambar 19. Hasil pengukuran RC dengan Sensor-1



Gambar 19. Hasil pengukuran RC dengan Sensor-1



Gambar 20. Hasil pengukuran RC dengan Sensor-2



Gambar 21. Hasil pengukuran RC dengan Sensor-3

Dari hasil pengukuran ke tiga jenis sensor di atas memperlihatkan bahwa terdapat perubahan nilai resistansi R dan kapasitansi C dari elektroda ganda sensor yang diukur pada tanah dengan kelembaban tertentu. Seperti diperlihatkan pada gambar 19-21 bahwa nilai resistansi R dari masing-masing sensor mengalami penurunan dengan naiknya tingkat kelembaban tanah. Hal ini disebabkan karena jumlah air yang terlarut di dalam tanah meningkatkan nilai konduktivitas tanah sehingga menurunkan factor tahanan tanah.

Sementara nilai kapasitansi sonde sensor silinder sejajar akan kenaikan dengan naiknya nilai kelembaban tanah. Hal ini disebabkan jumlah air yang berada dalam rongga tanah meningkatkan nilai dielektrisitas dari media tanah sehingga hubungan linier antara dielektrik dengan kapasitansi akan terpenuhi. Kemudian dalam penetrasi sonde ke dalam tanah akan mempengaruhi nilai dari kapasitansi karena nilai terukur pada alat ukur merupakan nilai kapasitansi sonde dengan dielektrik tanah berkelembaban terdefinisi, kapasitansi konektor dan pelat Teflon dan kapasitansi udara (panjang sonde sensor yang berada di udara bebas). Dengan demikian, faktor penetrasi menjadi suatu factor koreksi untuk mengetahui tingkat kelembaban tanah.

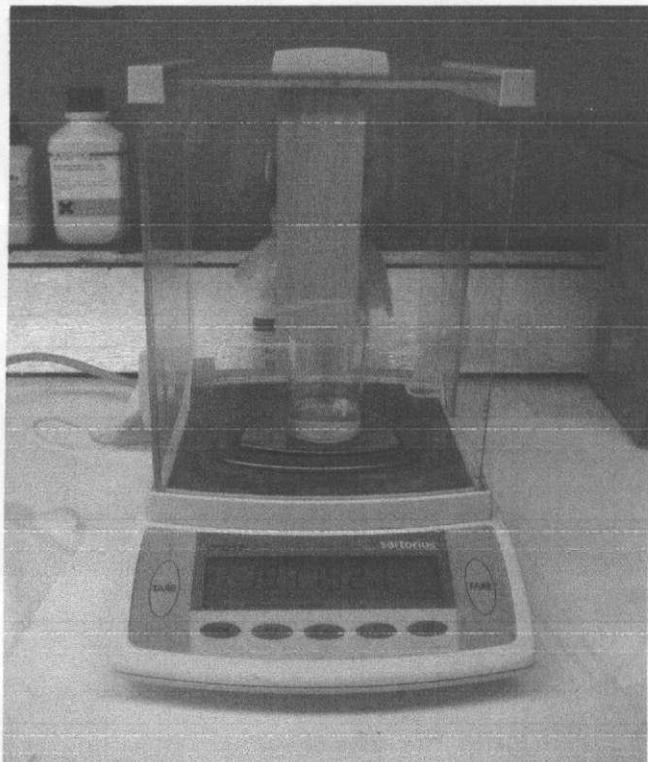
#### **IV.4. Pengukuran Dan Karakterisasi Sensor Dengan Solartron Analytical Impedance/Gain-Phase Analyzer 1260**

Pengukuran dan karakterisasi sensor dilakukan di Lab. Bahan Termaju, FST Universitas Kebangsaan Malaysia (UKM) Bangi, Kuala Lumpur mempergunakan alat Impedance/gain-phase Analyzer tipe 1260 dari Solartron Analytical. Frekuensi sweep 0,1Hz – 10MHz dengan tegangan ac sebesar 10mV.

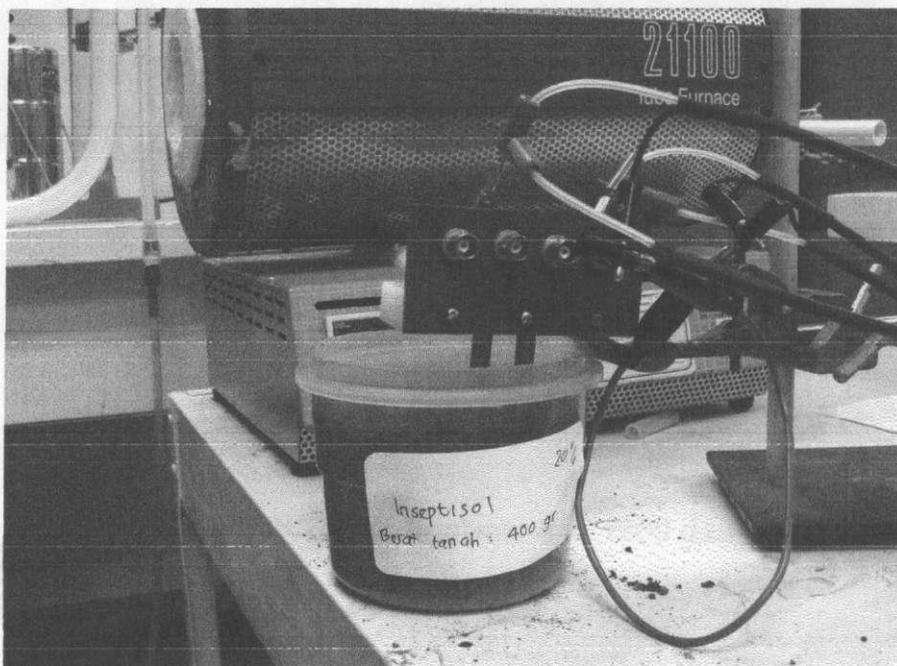
Pada bagian pertama dari karakterisasi dilakukan persiapan sample tanah dengan membagi menjadi 6 tingkat kelembaban berbeda, masing-masing 10, 20, 30, 40, 45, 50% kelembaban pada 100 gram masa tanah. Masa tanah dan masa air kemudian timbang menggunakan timbangan presisi seperti pada gambar 17 sebelum dilakukan pengukuran impedansi mempergunakan sensor elektroda ganda. Penggunaan alat Impedance Analyser dimaksudkan untuk menscanning frekuensi kerja dari sonde sensor serta impedansi dari masing-masing tanah dengan tingkat kelembaban terdefinisi yang berbeda. Sebagai kalibrator untuk menguji kelembaban tanah dipergunakan Soil Moisture Meter dari perusahaan Lutron tipe PMS714 yang mempunyai kemampuan untuk mengukur kelembaban tanah dari 0-50% dengan toleransi resolusi 0,1%.

Dari hasil pengukuran mempergunakan alat IA dari perusahaan Solatron ini akan diperoleh kurva Impedansi sensor dalam bentuk kurva ruang kompleks dan bode plot dari sample tanah yang bersesuaian. Untuk menganalisa besarnya impedansi berupa bilangan real G dan bilangan imajiner dari impedansi kompleks

sample tanah, dipergunakan software ZView2. Set up percobaan diperlihatkan mulai dari gambar 23 sampai dengan gambar 26.



Gambar 22. Penimbangan sampel tanah dengan timbangan presisi



Gambar 23. Set-up percobaan dengan variasi kelembaban tanah

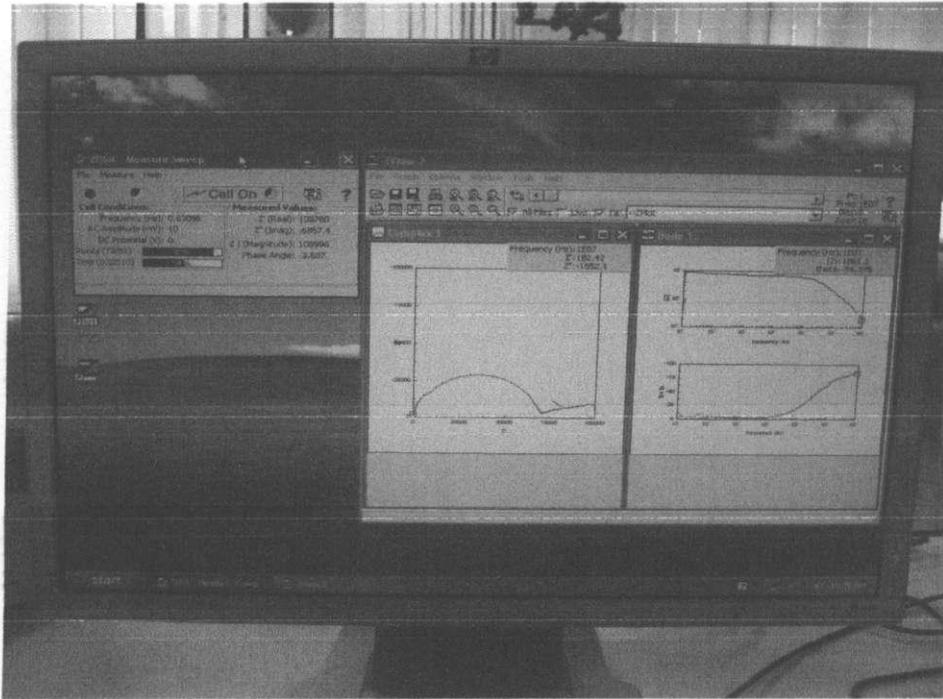


(a)

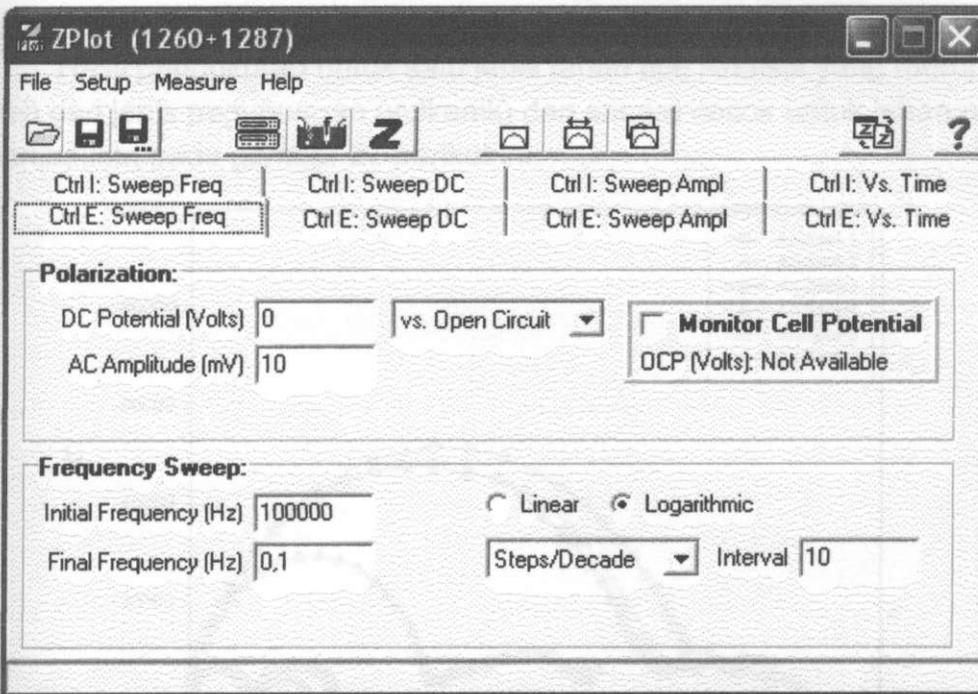


(b)

Gambar 24. Impedance/gain-phase Analyzer tipe 1260 dari Solartron Analytical



(a)



(b)

Gambar 25. Software Z-Plot dan ZView untuk mengukur impedansi tanah

Gambar 27. Kurva kompleks dari tanah andisol pada beberapa tingkat keambaban

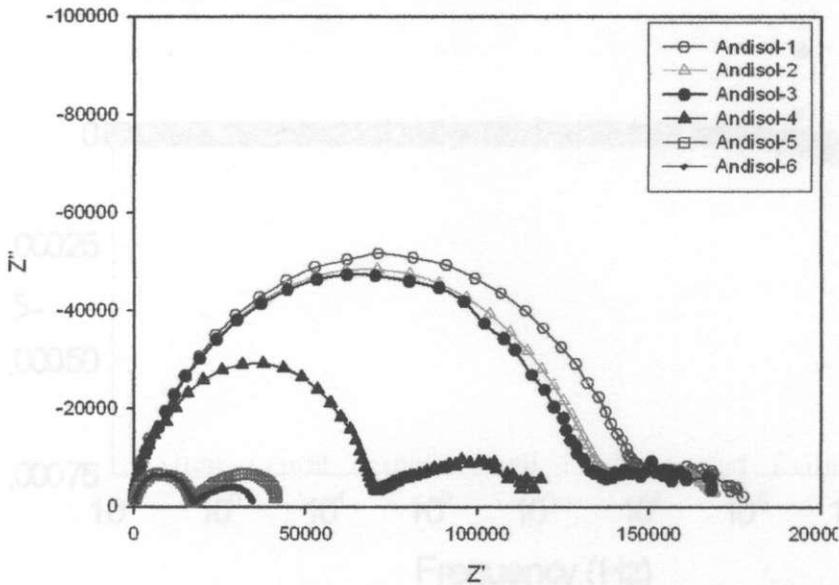
Kurva ini memberikan grafik setengah lingkaran (semi circle) untuk beberapa tingkat keambaban terdefinisi yaitu keambaban 10, 20, 30, 35, 40.



Gambar 26. Setup pengambilan Data Impedansi

#### IV.5. Pengolahan Data Pengukuran Dari Impedansi Analiser

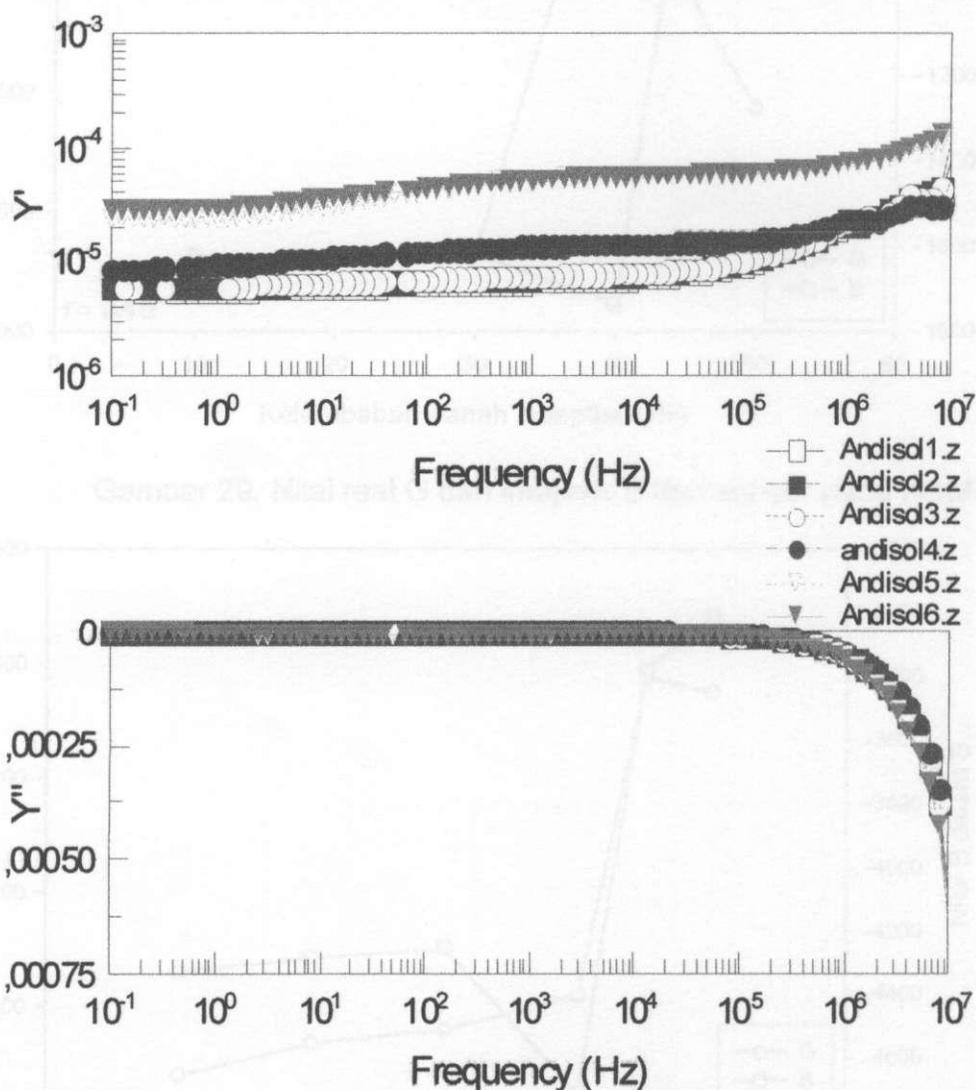
Hasil pengukuran untuk satu jenis tanah tipe Andisol yang merupakan tanah dari jenis pegunungan (vulkanik) dan sangat cocok untuk lahan pertanian diperlihatkan pada gambar 27 berikut ini.



Gambar 27. Kurva kompleks dari tanah andisol pada beberapa tingkat kelembaban

Kurva ini memberikan grafik setengah lingkaran (semi circle) untuk beberapa tingkat kelembaban terdefinisi yaitu kelembaban 10, 20, 30, 35, 40,

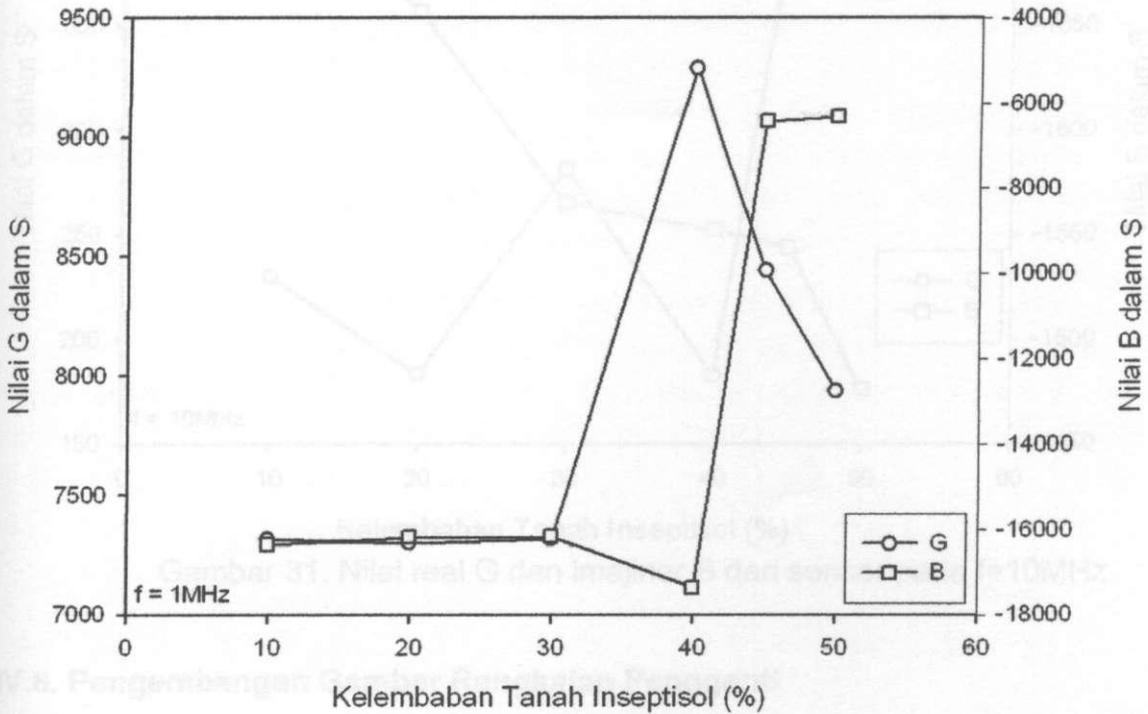
50%. Dari gambar diperlihatkan bahwa pada tingkat kelembaban yang rendah maka kurva setengah lingkaran lebih tinggi dari yang mempunyai kelembaban tinggi. Dalam hal ini nilai bagian imajiner dari pengukuran impedansi sensor kelembaban lebih tinggi dari lainnya. Hal ini disebabkan faktor imajiner lebih disebabkan oleh sifat kapasitif dari dielektrik sensor yaitu tanah dengan tingkat kelembaban yang rendah. Makin rendah tingkat kelembaban maka bagian imajiner yang mewakili sifat kapasitif dari dielektrik tanah akan lebih dominan dari bagian real dari kurva impedansi yang menyatakan sifat konduktansi dari tanah (admittansi). Kurva impedansi ini dapat dibagi menjadi dua bagian kurva Admittansi dimana  $Y'$ (frek) menyatakan sebagai  $Y'$  yang merupakan bagian real  $G$  dan  $Y''$ (frek) yang merupakan  $Y''$  menyatakan bagian imajiner  $B$  dari sensor.



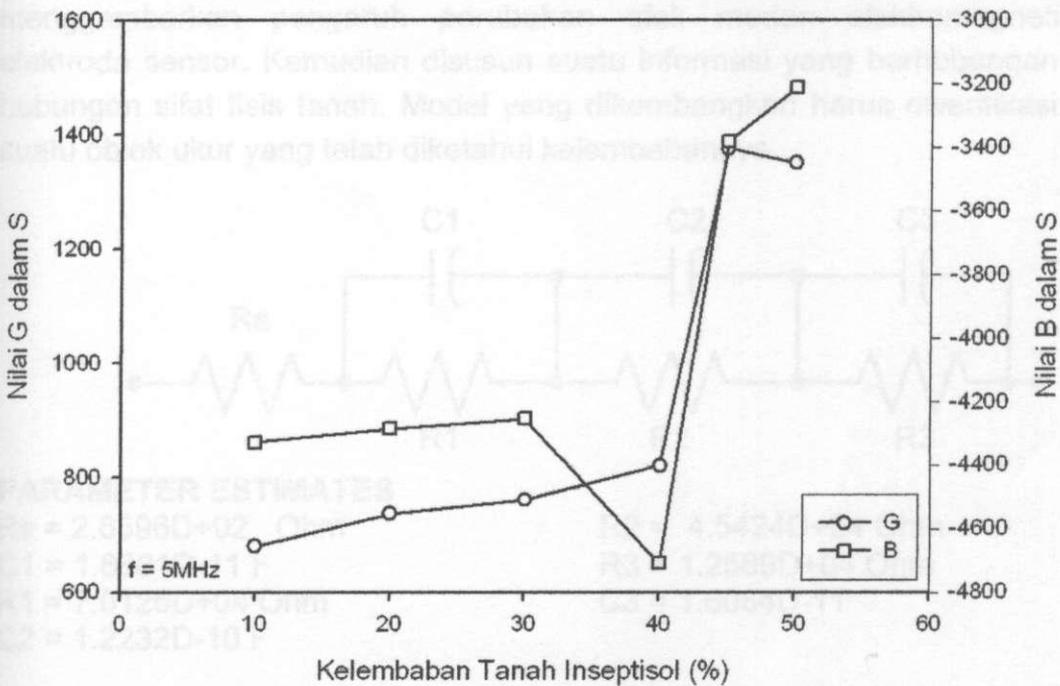
Gambar 28. Gambar Bode Plot dari tanah andisol

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa spektroskopi impedansi akan menscann frekuensi natural dari sonde sensor dengan dielektrik tanah yang

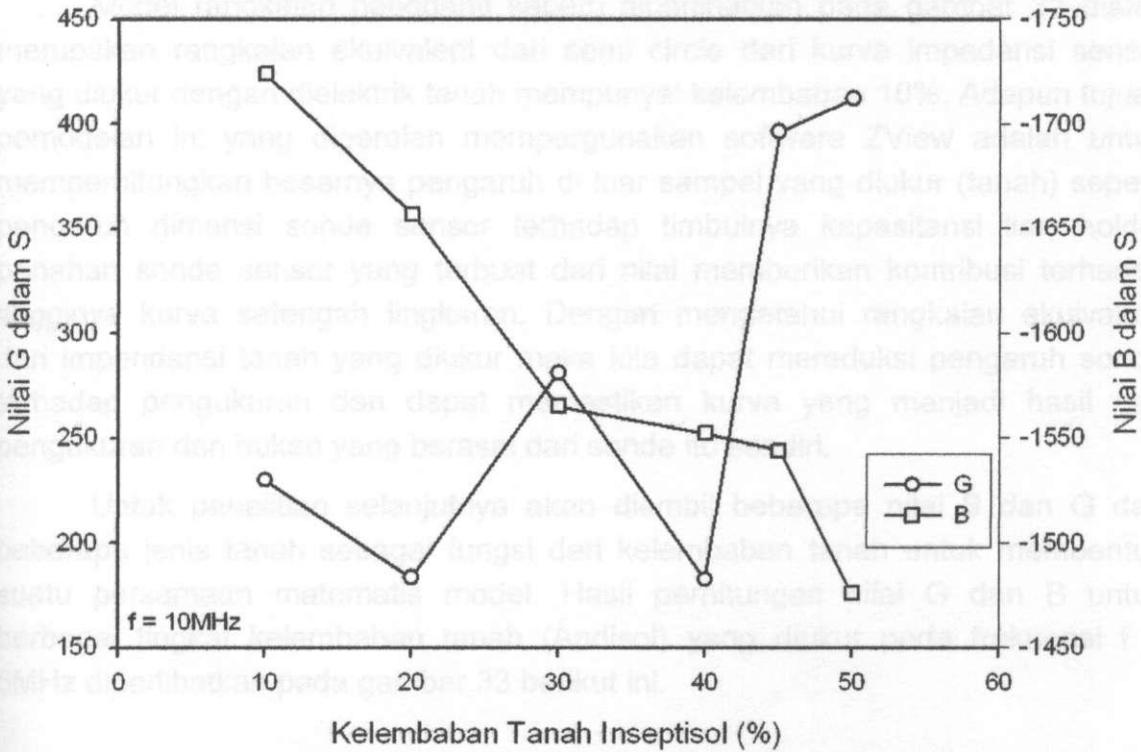
dibasahi pada kelembaban tertentu. Gambar 29-31 berikut memperlihatkan besarnya bagian real G dan imajiner G dari tanah andisol pada besar frekuensi pengukuran 1MHz, 5MHz dan 10Mhz. Besarnya frekuensi pengukuran akan berpengaruh kepada selektivitas sensor dalam mendeteksi kelembaban tanah.



Gambar 29. Nilai real G dan imajiner B dari sensor pada f=1MHz



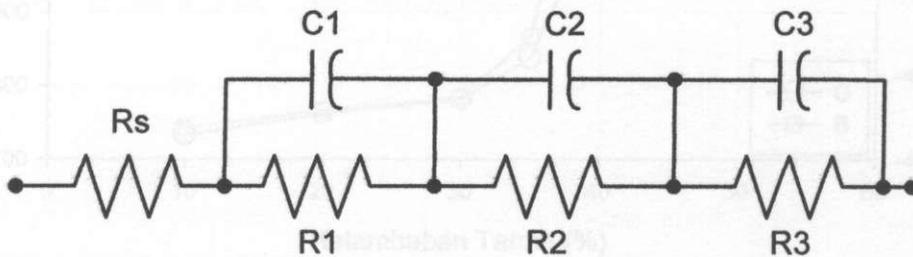
Gambar 30. Nilai real G dan imajiner B dari sensor pada f=5MHz



Gambar 31. Nilai real G dan imajiner B dari sensor pada  $f=10\text{MHz}$

#### IV.6. Pengembangan Gambar Rangkaian Pengganti

Dilakukan pengukuran karakteristik fisis kelembaban tanah dan dari data ukur akan dikembangkan lebih lanjut gambar rangkaian pengganti untuk menggambarkan pengaruh perubahan efek medan elektromagnetik pada elektroda sensor. Kemudian disusun suatu informasi yang berhubungan dengan hubungan sifat fisis tanah. Model yang dikembangkan harus diverifikasi dengan suatu objek ukur yang telah diketahui kelembabannya.



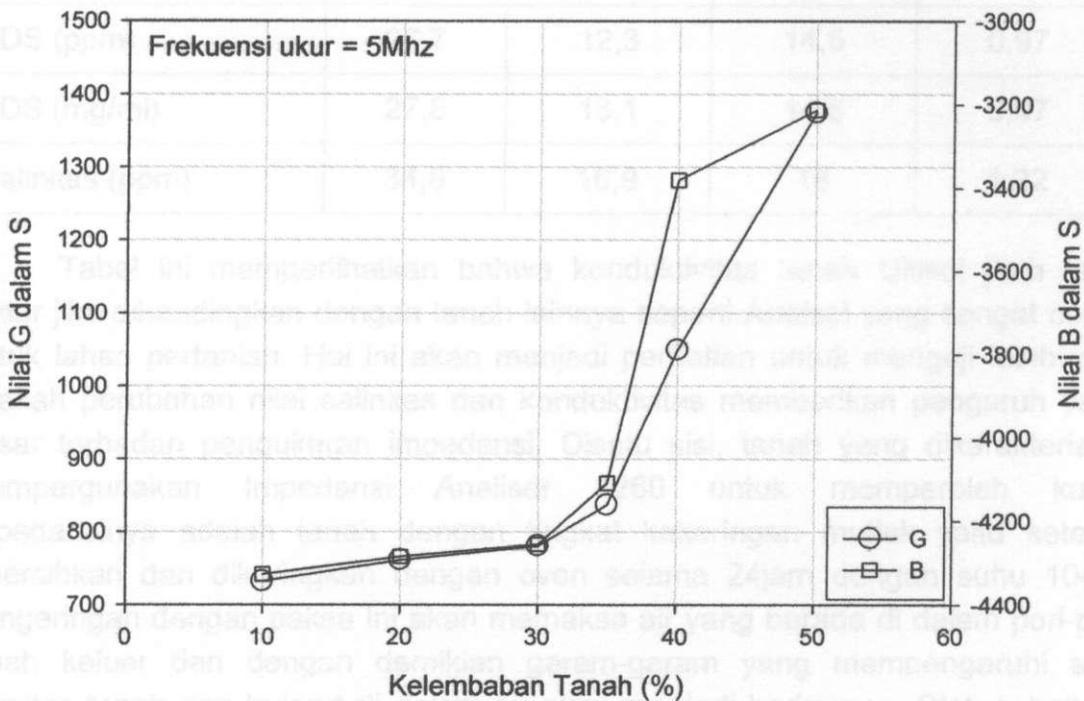
#### PARAMETER ESTIMATES

$R_s = 2.6596\text{D}+02$ Ohm	$R_2 = 4.5424\text{D}+04$ Ohm
$C_1 = 1.6661\text{D}-11$ F	$R_3 = 1.2569\text{D}+04$ Ohm
$R_1 = 7.0125\text{D}+04$ Ohm	$C_3 = 1.6084\text{D}-11$ F
$C_2 = 1.2232\text{D}-10$ F	

Gambar 32. Rangkaian pengganti dari tanah Andisor 10%

Oleh Model rangkaian pengganti seperti diperlihatkan pada gambar 32 diatas merupakan rangkaian ekuivalent dari semi circle dari kurva impedansi sensor yang diukur dengan dielektrik tanah mempunyai kelembaban 10%. Adapun tujuan pemodelan ini yang diperoleh mempergunakan software ZView adalah untuk memperhitungkan besarnya pengaruh di luar sampel yang diukur (tanah) seperti pengaruh dimensi sonde sensor terhadap timbulnya kapasitansi liar, holder penahan sonde sensor yang terbuat dari nilai memberikan kontribusi terhadap tingginya kurva setengah lingkaran. Dengan mengetahui rangkaian ekuivalent dari impedansi tanah yang diukur maka kita dapat mereduksi pengaruh sonde terhadap pengukuran dan dapat memastikan kurva yang menjadi hasil dari pengukuran dan bukan yang berasal dari sonde itu sendiri.

Untuk penelitian selanjutnya akan diambil beberapa nilai B dan G dari beberapa jenis tanah sebagai fungsi dari kelembaban tanah untuk membentuk suatu persamaan matematis model. Hasil perhitungan nilai G dan B untuk berbagai tingkat kelembaban tanah (Andisol) yang diukur pada frekuensi  $f = 5\text{MHz}$  diperlihatkan pada gambar 33 berikut ini.



Gambar 33. Nilai G dan B tanah Andisol pada frekuensi 5MHz

#### IV.7. Karakterisasi Sifat Kimia Tanah

Sifat kimia tanah seperti tingkat keasaman (pH), kadar salinitas, konduktivitas dan lainnya akan berpengaruh terhadap pengukuran impedansi.

Oleh sebab itu pada penelitian ini untuk tahap kedua telah dilakukan uji sifat kimia dari tanah untuk mengetahui tingkat salinitas dan konduktivitas tanah.

Pengukuran dilakukan dengan mengambil sampel tanah sebanyak 350gram untuk masing-masing tanah yang akan diuji serta membasahinya dengan aquades secara perlahan sampai mencapai tingkat kejenuhan air (saturasi). Kemudian campuran air dan tanah dibiarkan selama 24 jam untuk mencek criteria saturasi. Jika tanah belum mencapai saturasi maka aquades perlu ditambahkan. Setelah pengendapan selama 24 jam, maka air dari tanah dikeluarkan dengan menyaringnya mempergunakan kertas filter Whatman no. 42. Dengan mempergunakan vakum kemudian air dikumpulkan dalam satu gelas beker. Air yang diperoleh dari proses saturasi ini kemudian diukur mempergunakan konduktivimeter. Adapun hasil pengukuran diberikan pada tabel 4.

**Tabel 4 Parameter kimia masing-masing sampel tanah**

Parameter	Ultisol	Inseptisol	Entisol	Andisol
Konduktivitas	70,5	33,5	36,2	2,45
TDS (ppm)	27,7	12,3	14,5	0,97
TDS (mg/ml)	27,8	13,1	14,5	0,97
Salinitas (ppm)	34,8	16,9	18	1,22

Tabel ini memperlihatkan bahwa konduktivitas tanah Ultisol jauh lebih besar jika dibandingkan dengan tanah lainnya seperti Andisol yang sangat cocok untuk lahan pertanian. Hal ini akan menjadi perhatian untuk menguji lebih jauh apakah perubahan nilai salinitas dan konduktivitas memberikan pengaruh yang besar terhadap pengukuran impedansi. Disatu sisi, tanah yang dikarakterisasi mempergunakan Impedansi Analiser 1260 untuk memperoleh kurva impedansinya adalah tanah dengan tingkat kekeringan mutlak yaitu setelah dibersihkan dan dikeringkan dengan oven selama 24jam dengan suhu 104C. Pengeringan dengan paksa ini akan memaksa air yang berada di dalam pori-pori tanah keluar dan dengan demikian garam-garam yang mempengaruhi sifat salinitas tanah dan terlarut di dalam air akan menjadi berkurang. Oleh sebab itu akan diuji lebih lanjut perbedaan tingkat salinitas tanah yang masih segar dengan tanah yang telah dikeringkan pada tingkat kelembaban yang sama.

#### **IV.8. Pemodelan Matematis Sensor Kelembaban 2 Jenis Tanah**

Dengan Fungsi G dan B dari suatu impedansi sensor kelembaban membentuk suatu sinyal yang sebenarnya tidak bergantung pada tipe material. Untuk

menekan ketergantungan sifat tanah dari dua fungsi yang saling tidak bergantung pada suatu kelembaban tanah  $\theta_0$  maka digabungkan bagian real G dan bagian imajiner B dari admitansi yang diukur melalui suatu fungsi A:

$$A(\theta, b, f) = G(\theta, b, f) - k \cdot B(\theta, b, f) \quad (26)$$

Dengan memilih nilai k yang tepat untuk yang berada dalam daerah kerja 2 tipe tanah yang berbeda maka pengaruh material tanah pada pengolahan sinyal akan dapat dikompensasi dan di dalam daerah ukur ini diperoleh sinyal dengan tingkat ketergantungan material yang sudah direduksi. Jika terdapat 2 jenis tanah yang berbeda dengan fungsi  $A_1(\theta_0)$  dan analog fungsi  $A_2(\theta_0)$  untuk tanah ke dua. Kedua fungsi kongruen pada posisi kelembaban  $\theta_0$ . Maka

$$A_1(\theta_0) = A_2(\theta_0)$$

dan berlaku

$$k = \frac{G_1(\theta_0) - G_2(\theta_0)}{B_1(\theta_0) - B_2(\theta_0)} = \frac{\Delta G(\theta_0)}{\Delta B(\theta_0)} \quad (27)$$

Faktor k dipilih pada daerah kerja dari kurva G dan B dari 2 jenis tanah sehingga persamaan (27) memberikan suatu polinom empiris yang memperlihatkan suatu hubungan antara nilai G dan B serta tingkat kelembaban  $\theta_v$  yang dicari.

#### IV.9. Pemodelan Matematis Sensor Kelembaban 3 Jenis Tanah

Pada pemodelan matematis untuk beberapa jenis tanah yang memperlihatkan hubungan antara fungsi kalibrasi  $S_F$  dan besaran ukur  $\theta_0$  yang berlaku untuk beberapa jenis tanah maka dipergunakan persamaan polinom sebagai berikut:

$$S_F = s_0 + s_1\theta + s_2\theta^2 \quad (28)$$

Untuk 3 jenis tanah dimana pengaruh material tanah akan ditekan ditentukan dari persamaan A1, A2 dan A3. Untuk fungsi aproksimasi diperlukan suatu kurva yang nilainya berdekatan dengan nilai pengukuran masing-masing tanah, yang struktur model matematisnya sesuai dengan persamaan polinom. Parameter-parameter model kemudian ditentukan dengan mengekstraksi mempergunakan metode kuadrat terkecil S berdasarkan prinsip Gaussian, yaitu:

$$S(k, s_0, s_1, s_2) = \sum_{i=1}^n (S_F - A_1)^2 + (S_F - A_2)^2 + (S_F - A_3)^2 \Rightarrow \text{Min}(s_j, k) \quad (29)$$

Dengan  $A_{1i} = (G_{1i} - kB_{1i})$   $A_{2i} = (G_{2i} - kB_{2i})$   $A_{3i} = (G_{3i} - kB_{3i})$

Gambar 34. Modifikasi probe sensor ber elektroda ganda (a) dan cakram (b)

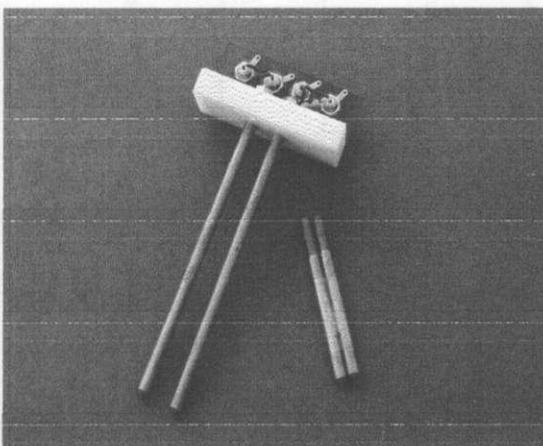
Model dengan parameter  $k$ ,  $s_0$ ,  $s_1$ ,  $s_2$  ditentukan dengan persamaan Normal sehingga diperoleh suatu persamaan diferensial yang tersusun dalam persamaan Jacobi untuk menentukan model parameter dari persamaan aproksimasi kurva model untuk 3 jenis tanah.

#### IV.10. Desain dan Pembuatan Prototipe Sensor Impedansi

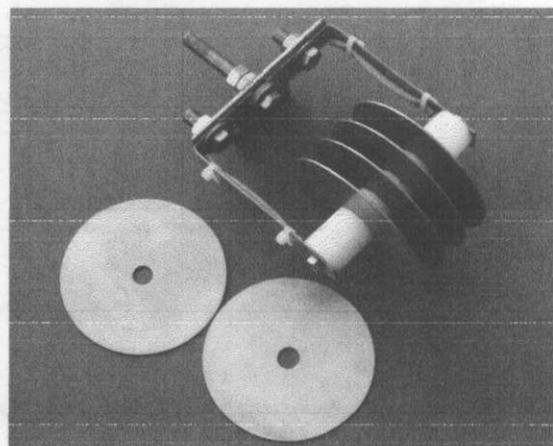
##### IV.10.1. Modifikasi Sonde Sensor dan Karakterisasi

Pengukuran tingkat kelembaban tanah sampel dilakukan dengan mempergunakan sonde yang terbuat dari bahan kuningan. Untuk memperoleh hasil yang terbaik maka dilakukan variasi dimensi dari elektroda kuningan. Ukuran panjang elektroda akan menentukan tingkat kedalaman yang diukur dan umumnya pada pengukuran tingkat kelembaban tanah untuk tanaman pangan hanya dilakukan pada tanah top soil dengan tingkat kedalaman yaitu maksimum 300mm. Diameter elektroda yang terlalu besar akan mempengaruhi berat dari sonde sehingga mempengaruhi tingkat mobilitas alat di lapangan namun memberi keuntungan yaitu kokoh dalam penetrasi ke dalam tanah dengan struktur yang keras. Sementara sebaliknya jika diameter relatif kecil maka akan membengkok jika menembus struktur tanah yang keras sehingga perlu dilapis dengan material yang keras.

Beberapa sonde yang dimodifikasi diperlihatkan pada gambar 1 berikut. Sementara hasil karakterisasi untuk 3 jenis sensor yaitu sensor tipe 1: dengan panjang ( $l$ ) = 100mm dan diameter 6.5 mm, sensor tipe 2 dengan panjang = 190 mm dan diameter 4mm dan sensor tipe 3 dengan panjang = 205 mm dan diameter = 7 mm pada beberapa variasi kelembaban tanah diberikan pada gambar 34 dengan nilai kapasitansi 3-19,5pF.



(a)

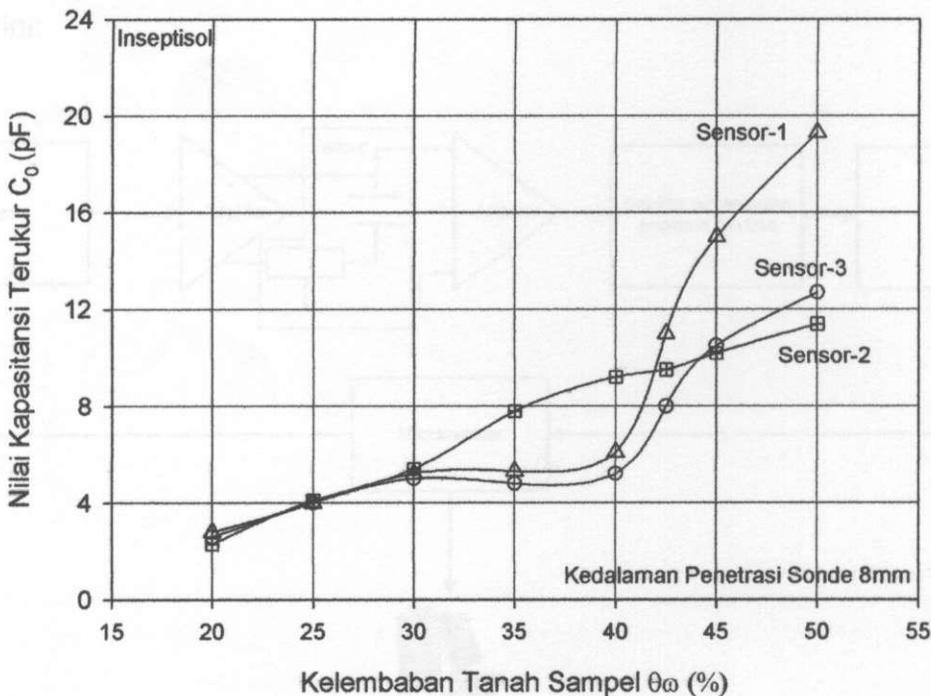


(b)

Gambar 34. Modifikasi sonde sensor ber elektroda ganda (a) dan cakram (b)

Dari hasil pengukuran ke tiga jenis sensor di atas memperlihatkan bahwa terdapat perubahan nilai kapasitansi C dari elektroda ganda sensor yang diukur pada tanah dengan kelembaban tertentu. Seperti diperlihatkan pada gambar 2 bahwa nilai kapasitansi sonde sensor silinder akan naik dengan naiknya nilai kelembaban tanah. Hal ini disebabkan jumlah air yang berada dalam rongga tanah meningkatkan nilai dielektrisitas dari media tanah sehingga hubungan linier antara dielektrik dengan kapasitansi akan terpenuhi. Kemudian dalam penetrasi sonde ke dalam tanah akan mempengaruhi nilai dari kapasitansi karena nilai terukur pada alat ukur merupakan nilai kapasitansi sonde dengan dielektrik tanah berkelembaban terdefinisi, kapasitansi konektor dan pelat Teflon dan kapasitansi udara (panjang sonde sensor yang berada di udara bebas). Dengan demikian, faktor penetrasi menjadi suatu factor koreksi untuk mengetahui tingkat kelembaban tanah.

Ketiga sensor memperlihatkan kenaikan yang sama untuk kapasitansi terukur dimana sensor ke-2 cenderung memperlihatkan kenaikan yang lebih stabil jika dibandingkan dengan yang lainnya. Namun karakterisasi ini tidak menjamin bahwa jenis ke-2 lebih baik daripada yang lainnya karena karakteristik keseluruhan diukur ketika elektroda telah digabungkan dengan rangkaian elektronik.

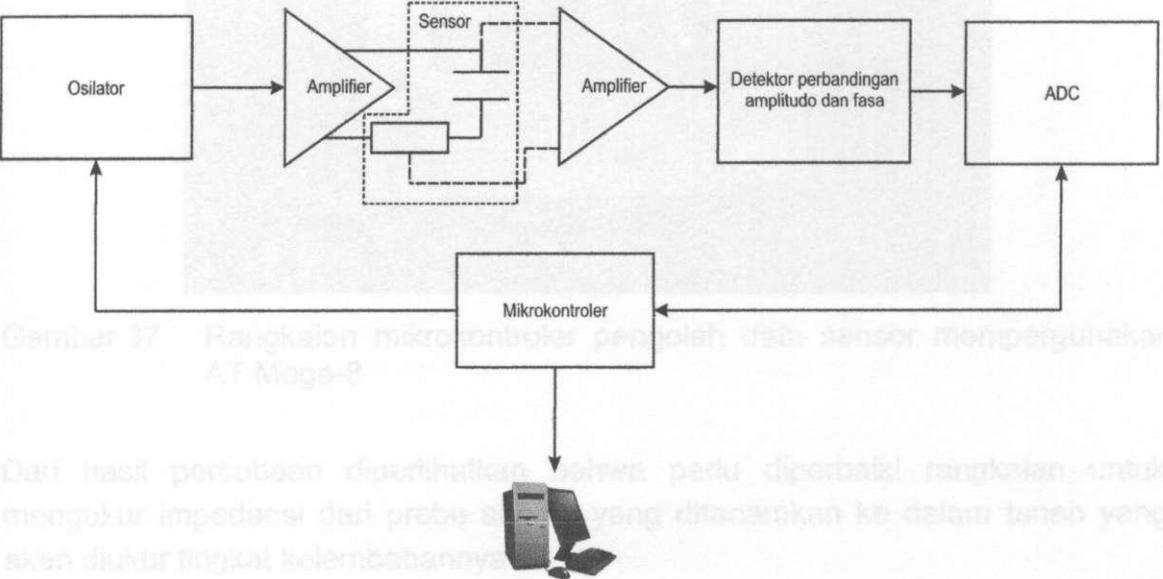


Gambar 35 Karakterisasi 3 sensor pada variasi kelembaban pada kedalaman penetrasi 8mm.

Bahan yang dipergunakan sebagai elemen sonde tetap terbuat dari bahan kuningan disebabkan tanah memiliki sifat korosif yang tinggi sehingga diperlukan bahan sonde yang tahan korosif dan kuat. Dimensi diameter silinder sensor bervariasi 4-10mm dan panjang elemen 100-200mm. Untuk memvariasikan pengaruh dimensi dari batang sonde maka masing-masing elemen dapat dengan mudah diganti dengan elemen lainnya tanpa harus membuat pemegang yang baru. Sementara sensor yang lainnya berbentuk 4 cakram paralel yang berbentuk modifikasi elemen Wenner dan diperuntukkan agar elemen dapat ditarik mempergunakan traktor tangan dalam pengoperasiannya.

**IV.10.2. Pembuatan Rangkaian Elektronik Sensor Dengan ATMeg8**

Proses pengukuran kelembaban tanah dengan prinsip impedansi spektroskopi adalah dengan mengukur impedansi tanah sampel yang telah ditentukan kelembabannya pada rentang frekuensi tertentu. Untuk itu pada penelitian ini dikembangkan system pengukuran impedansi mempergunakan osilator terkontrol dimana tegangan dan arus dari elektroda sensor dibandingkan untuk memperoleh sudut fasanya. Frekuensi osilator dan akuisisi data digital akan dikontrol mempergunakan mikrokontroler. Adapun blok diagram dari system pengukuran yang dikembangkan pada tahun ke-3 ini diperlihatkan pada gambar 3 berikut ini:



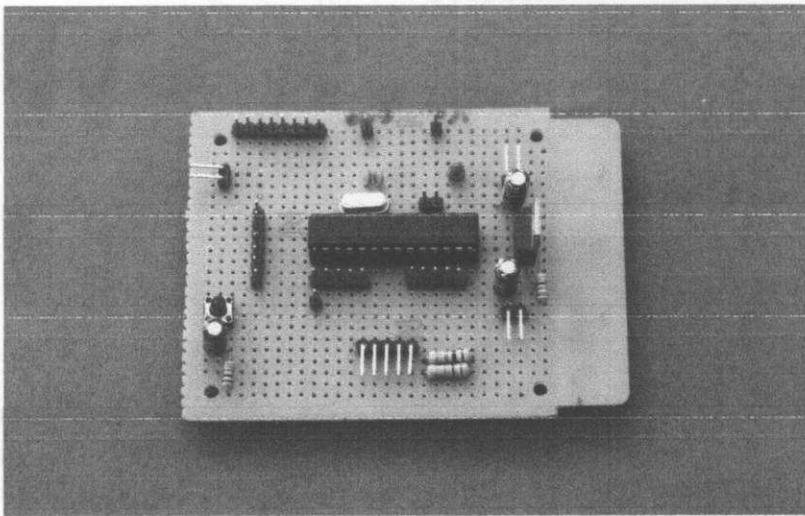
Gambar 37 Rangkaian mikrokontroler perubah data sensor mempergunakan AT Mega-8

**IV.10.3. Rangkaian Pengukur impedansi Berdasarkan Data for Fasa**

Gambar 36 Blok diagram pengukuran impedansi dengan osilator yang dikontrol mikrokontroler

bahwa sonde sensor memperhatikan perubahan impedansi pada setiap

Pada tahap awal pengembangan tahun ke 3 ini (2010) dipergunakan mikrokontroler AT Mega-8 yang umum terdapat di pasaran dalam negeri, hingga menanti komponen yang dipesan dari supplier luar Indonesia. Mikrokontroler ini adalah mikrokontroler CMOS 8-bit berarsitektur AVR RISC yang memiliki 8K Bytes In-System Programmable Flash. Mikrokontroler dengan konsumsi daya rendah ini mampu mengeksekusi instruksi dengan kecepatan maksimum 16 MIPS pada frekuensi 16MHz. Disamping itu mikrokontroler ATmega8 memiliki 8K Bytes In-System Self-programmable Flash Program Memory, 512 Bytes EEPROM, 6-channel ADC with 10-bit Accuracy. Dengan menggunakan ATmega8 ini ada beberapa kemungkinan fitur yang bisa ditambahkan USB read/write ke dalam internal memori EEPROM yang berukuran 512 byte untuk menyimpan data misalnya data kalibrasi atau data kode produk. Dengan space memori program yang masih besar, user bisa menambahkan fasilitas lain misalnya untuk USB to I2C converter atau USB to Serial PS2 dan converter – converter yang lain. Bagian ini diperlukan untuk mengontrol system secara keseluruhan, membaca dan mengolah data serta menampilkan data ke PC melalui serial interface.



Gambar 37 Rangkaian mikrokontroler pengolah data sensor mempergunakan AT Mega-8

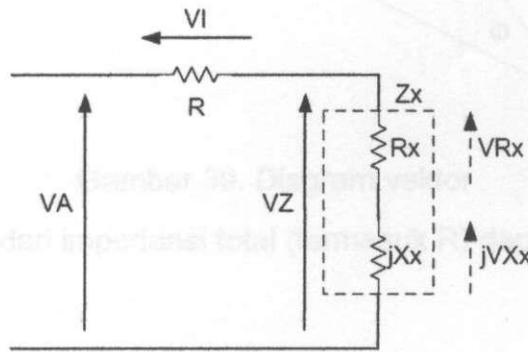
Dari hasil percobaan diperlihatkan bahwa perlu diperbaiki rangkaian untuk mengukur impedansi dari probe sensor yang ditanamkan ke dalam tanah yang akan diukur tingkat kelembabannya.

#### IV.10.3. Rangkaian Pengukur Impedansi Berdasarkan Detektor Fasa

Seperti diperlihatkan pada penelitian Hibah Kompetensi tahun ke-1 dan ke-2 bahwa sonde sensor memperlihatkan perubahan impedansi pada setiap

perubahan kelembaban. Perubahan ini juga merupakan fungsi frekuensi gelombang ac yang diberikan pada sonde dan memperlihatkan kekeringan tingkat tanah berpengaruh kepada nilai kapasitansi dan resistansi dari tanah tersebut.

Untuk mengukur kelembaban tanah berdasarkan prinsip impedansi spektroskopi dipergunakan alat ukur Impedance Analysis dari perusahaan Solatron dengan tipe IS1260 yang memberikan gelombang eksitasi ac dengan amplitudo sebesar 10mV dengan variasi dari frekuensi 0,1Hz sampai dengan 30MHz dimana kenaikan frekuensi dapat diatur melalui program pengendali IS1260. Untuk menggantikan fungsi dari Solatron 1260 sebagai alat ukur impedansi tanah maka pada bagian ini dirancang sistem elektronik pengukur impedansi dengan mempergunakan detektor fasa yang akan menghasilkan beda fasa antara tegangan dan arus akibat perubahan kelembaban tanah. Rangkaian sederhana untuk mengukur impedansi diperlihatkan pada gambar 3 dan gambar 5 berikut ini.



Gambar 38 Rangkaian dasar pengukur impedansi

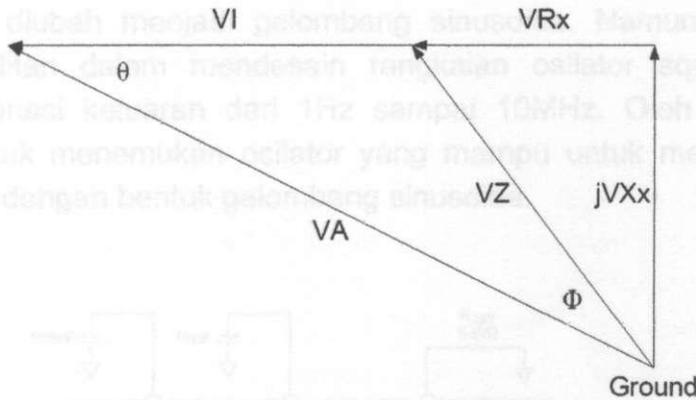
Rangkaian dasar diberikan pada gambar 5 dimana  $R$  adalah tahanan yang nilai telah diketahui. Nilai  $R$  untuk pengukuran dalam bidang RF berkisar antara 0.1 sampai 10 kali besarnya impedansi yang akan diukur. Nilai impedansi yang tidak diketahui (unknown impedance) akan dimodelkan dalam suatu rangkaian seri yang terdiri atas tahanan dan reaktansi yang tidak diketahui  $R_x$ , dan  $jX_x$ . Besarnya magnitude dari impedansi  $Z_x$ .

Pada rangkaian ini terdapat 3 jenis tegangan yang akan diukur yaitu  $V_A$  yang merupakan tegangan yang diberikan ke sonde sensor (applied voltage),  $V_I$  merupakan tegangan yang melewati resistor dengan nilai tertentu dan berhubungan dengan arus dan  $V_Z$  yang merupakan tegangan pada impedansi yang tidak diketahui. Sekalipun besarnya magnitudes dari tegangan tegangan ini diketahui, maka sebenarnya tegangan ini adalah vector seperti diperlihatkan pada gambar 6 berikut. Sudut  $\theta$ , adalah tidak diketahui namun dapat ditentukan. Vektor tegangan yang melewati tahanan internal dan reaktansi dari impedansi

diperlihatkan sebagai referensi tetapi tidak ada cara untuk mengukur secara langsung. Oleh sebab itu sudut  $\Phi$ , dipergunakan sebagai metode alternative.

Hukum Cosinus dipergunakan untuk menghitung kosinus sudut  $\theta$  yaitu:

$$\cos(\theta) = \frac{VA^2 + VI^2 - VZ^2}{2 \cdot VA \cdot VI} \quad (30)$$



Gambar 39. Diagram vektor

Besarnya magnitude dari impedansi total (termasuk R) dapat dihitung dengan:

$$Z_A = R \cdot \frac{VA}{VI} \quad (31)$$

Dari gambar 39 dapat dilihat bahwa jumlah R dan Rx dapat ditentukan dengan

$$R + R_x = Z_a \cdot \cos(\theta) \quad (32)$$

Sehingga diperoleh nilai Rx menjadi

$$R_x = Z_a \cdot \cos(\theta) - R \quad (33)$$

Dari persamaan diatas dapat ditentukan besarnya magnitude dari impedansi yang tidak diketahui sebagai:

$$Z = R \cdot \frac{VZ}{VI} \quad (34)$$

Dan besarnya nilai magnitude reaktansi yang tidak diketahui menjadi

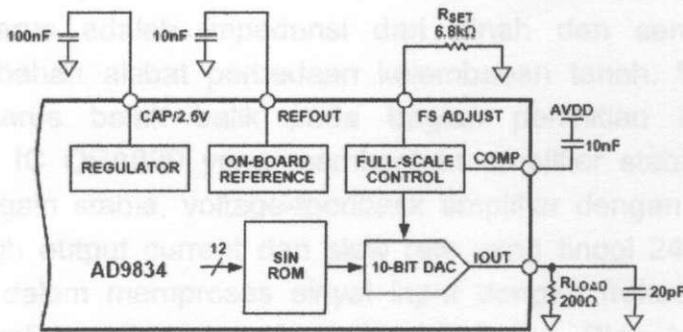
$$X_x = \sqrt{Z^2 - R_x^2} \quad (35)$$

Berdasarkan pengukuran di atas maka dimungkinkan pengukuran impedansi mempergunakan detector fasa yang akan mendeteksi perubahan fasa berdasarkan sumber tegangan yang diberikan dan tegangan terukur dari sonde.

B. F Pengembangan selanjutnya pada penelitian ini adalah merakit osilator dan pengontrolnya yang akan mengeksitasi sonde sensor dimana frekuensi dari osilator akan dikontrol oleh mikrokontroler. Adapun bagian-bagiannya adalah sebagai berikut:

### A. Osilator Terkontrol

Pada awal penelitian telah direncanakan menggunakan sinyal arus periodic menggunakan osilator dengan keluaran gelombang persegi (square), kemudian gelombang ini diubah menjadi gelombang sinusoida. Namun pada tahap ini diperoleh kesulitan dalam mendesain rangkaian osilator square yang akan memberikan variasi keluaran dari 1Hz sampai 10MHz. Oleh sebab itu telah diusahakan untuk menemukan osilator yang mampu untuk memberikan output yang bervariasi dengan bentuk gelombang sinusoida.

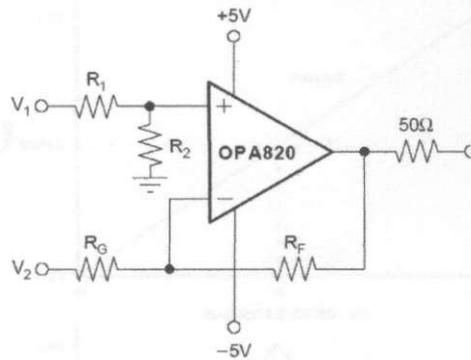


Gambar 40. Blok diagram osilator terkontrol uC AD9834

Seperti pada penggunaan Impedance Analyser IS1260 Solatron di FST UKM Malaysia yang akan menscanning impedansi sensor dari 0,1Hz-30Mhz maka sebagai pengganti IS1260 telah ditemukan chip IC AD9834 yang merupakan low power DDS device yang mampu menghasilkan keluaran gelombang sinus dan segitiga kualitas tinggi sampai frekuensi 75 MHz. Komponen ini mengkonsumsi daya hanya 20 mW pada tegangan 3 V. Frekuensi keluaran yang dihasilkan oleh IC AD9834 ini dikontrol melalui mikrokontroler dan dapat diprogram melalui interface serial 3-wire. Keluaran dalam bentuk arus pada IOUT akan dikonversi menjadi tegangan melalui  $R_{Load}$  dan dipergunakan untuk mengeksitasi sensor.

Gambar 42. Blok diagram detektor pembandingan fasa

## B. Perancangan Driver Untuk Current Signal Source

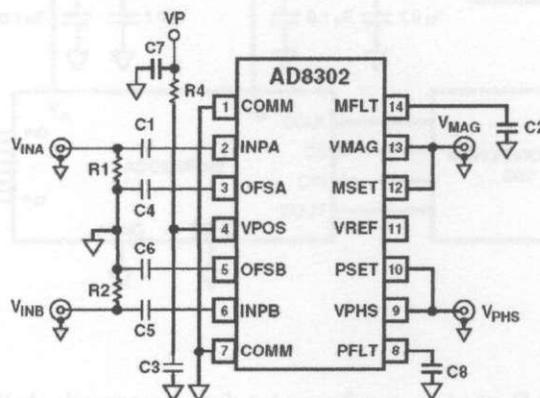


Gambar 41. Blok diagram penguat arus OPA820

Sinyal keluaran dari osilator masih relative kecil untuk dipergunakan mengeksitasi elektroda sensor. Untuk mengukur impedansi maka tegangan dan arus bolak balik yang berubah pada sonde sensor akan diukur. Perbandingan antara tegangan dan arus adalah impedansi dari tanah dan sensor serta akan mengalami perubahan akibat perbedaan kelembaban tanah. Untuk mengukur tegangan dan arus bolak balik pada bagian penelitian ini akan dirakit mempergunakan IC OPA820 yang memberikan amplifiier stabil dan wideband (240MHz), unity-gain stable, voltage-feedback amplifiier dengan tegangan noise yang rendah, high output current dan slew rate yang tinggi 240V/ms sehingga menguntungkan dalam memproses sinyal input dengan frekuensi tinggi untuk menghindari terjadinya distorsi pada frekuensi tinggi. Oleh karena elektroda sensor bersifat mempunyai virtual ground maka dipergunakan konfigurasi diferensial seperti pada gambar berikut.

## D. Blok Channel ADC

## C. Detektor Pembanding Fasa

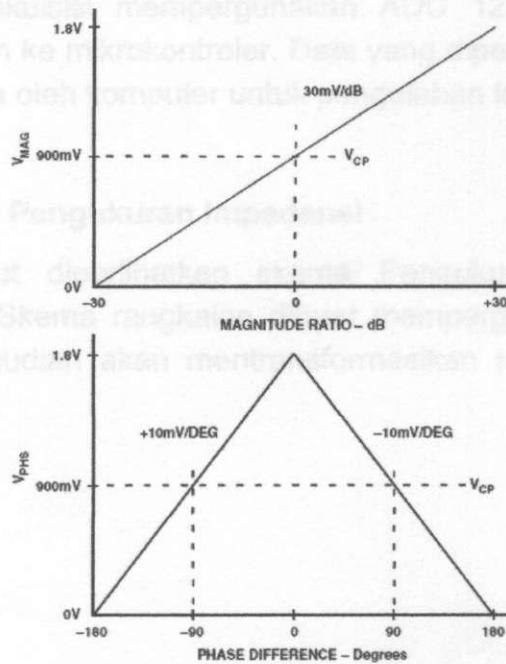


Gambar 42. Blok diagram detector pembanding fasa

Keluaran dan defektor phase berupa dua tegangan  $V_{\text{MAGNITUDE}}$  dan  $V_{\text{PHASE}}$  kemudian akan di akuisisi menggunakan ADC 12 bit tipe ADC128S022 sebelum diantarmukan ke mikrokontroler. Data yang diperoleh dari mikrokontroler kemudian akan dibaca oleh komputer untuk analisis lebih lanjut.

### E. Skema Rangkaian Pengukuran Impedansi

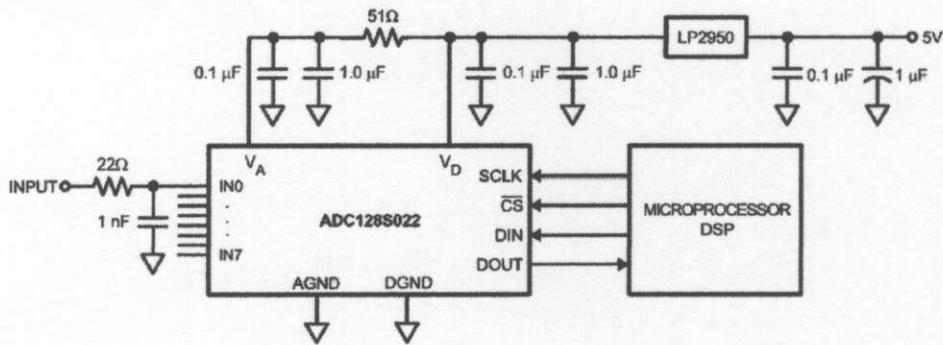
Pada gambar berikut di tunjukkan skema Rangkaian Impedansi Sensor Kelambaban Tanah. Skema rangkaian menggunakan Software Protei dan Eagle yang kemudian akan mentransformasikan rangkaian berikut dalam bentuk lay out PCB.



Gambar 43. Blok diagram perbedaan fasa antara 2 input tegangan

Keluaran dari sensor adalah berupa tegangan dan arus bolak balik yang akan dibandingkan fasanya mempergunakan IC detector fasa dari tipe AD8302 berikut ini. Komponen IC ini merupakan jantung rangkaian dari pengukur impedansi yang akan memberikan keluaran  $V_{\text{MAGNITUDE}}$  dan  $V_{\text{PHASE}}$  yang perbandingan antara tegangan dan arus sensor dan secara internal sudah terkalibrasi, lihat gambar.

### D. Multi Channel ADC



Gambar 44. Blok diagram perbedaan fasa antara 2 input tegangan

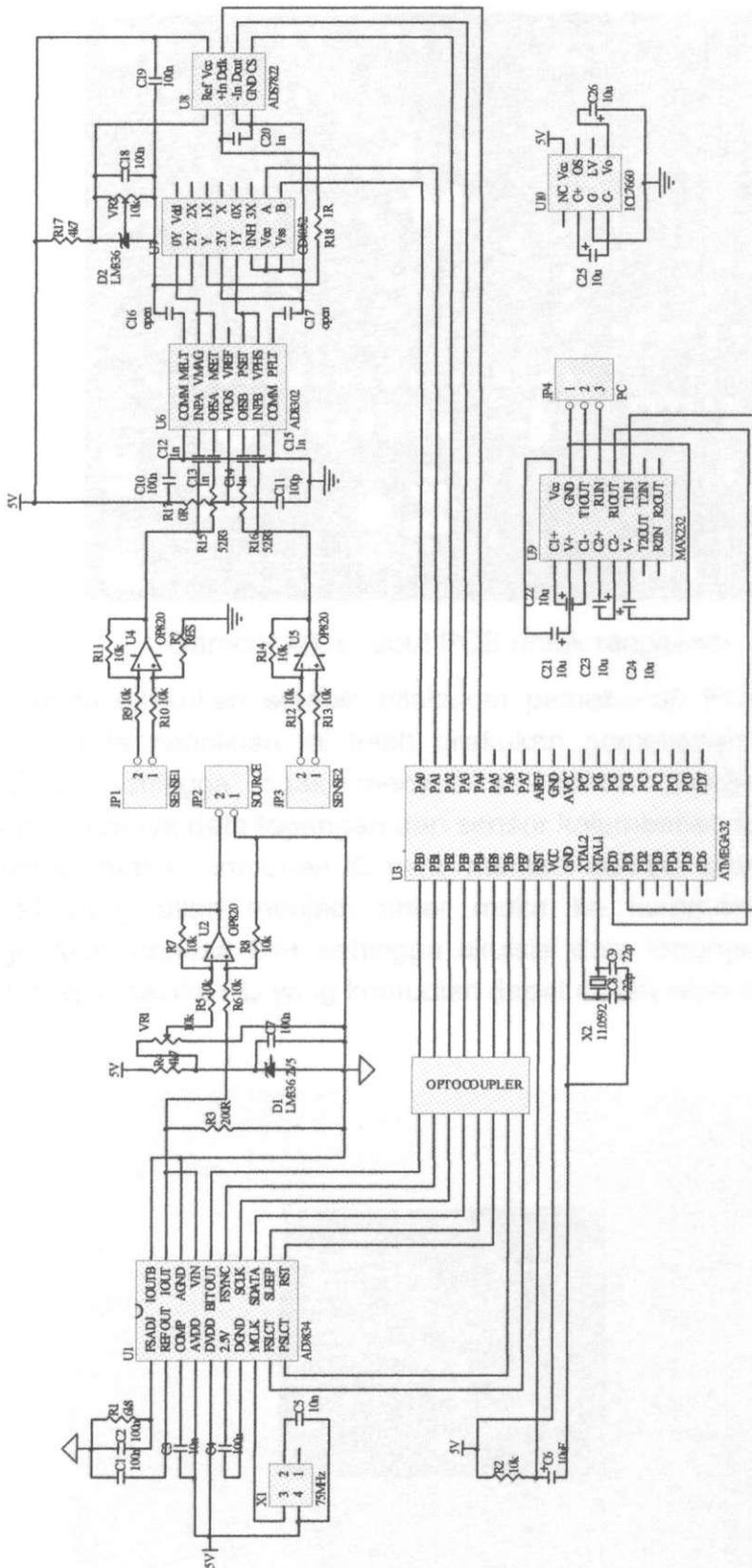
Keluaran dari detektor phase berupa dua tegangan  $V_{\text{magnitude}}$  dan  $V_{\text{phase}}$  kemudian akan di akuisisi mempergunakan ADC 12 bit tipe ADC128S022 sebelum diantarmukan ke mikrokontroler. Data yang diperoleh dari mikrokontroler kemudian akan dibaca oleh komputer untuk pengolahan lebih lanjut.

### E. Skema Rangkaian Pengukuran Impedansi

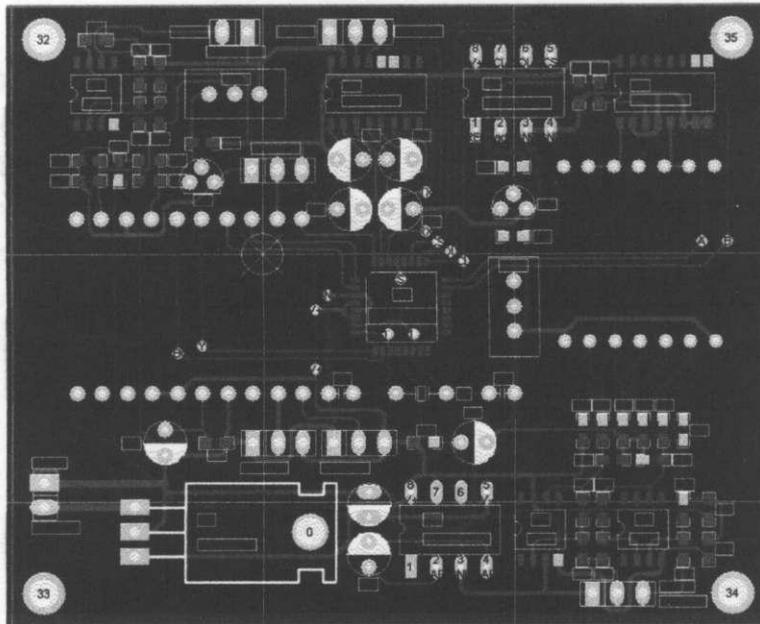
Pada gambar berikut diperlihatkan skema Pengukuran Impedansi Sensor Kelembaban Tanah. Skema rangkaian dibuat mempergunakan Software Protel dan Eagle yang kemudian akan mentransformasikan rangkaian berikut dalam bentuk lay out PCB.



Gambar 45. Skema rangkaian pengukur impedansi sensor kelembaban tanah

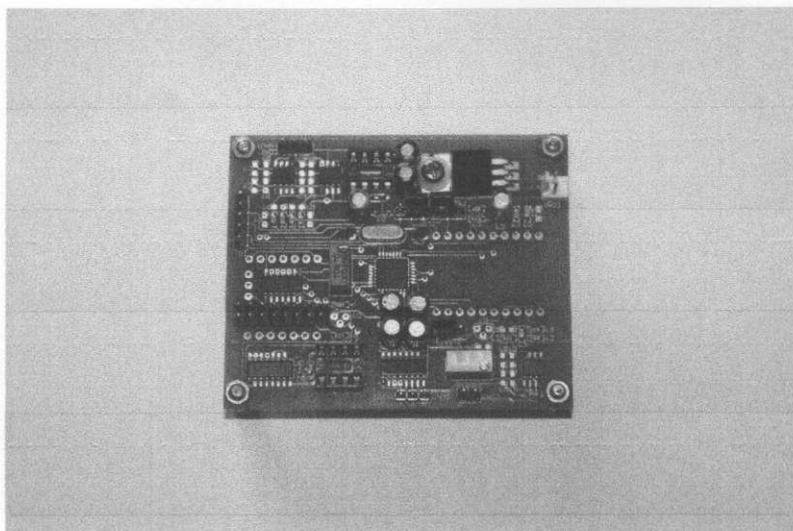


Gambar 45. Skema rangkaian pengukur impedansi sensor kelembaban tanah



Gambar 46. Layout PCB untuk rangkaian

Perakitan akan dilakukan setelah dilakukan pemesanan PCB dan tersedianya komponen. Pada penelitian ini telah dilakukan pemesanan komponen dalam bentuk SMD sehingga agak menyulitkan dalam pembuatan layout dan perakitan. Supaya data tegangan dari sensor kelembaban tanah dapat terbaca oleh komputer maka komponen IC yang menjadi sumber tegangan eksitasi dan ADC12 bit yang akan menjadi antar muka ke komputer akan diprogram mempergunakan bahasa C++ sehingga akuisisi data tegangan dapat dilakukan secara otomatis melalui PC yang kemudian dapat diolah lebih lanjut.



Gambar 47. Rangkaian pengolah isyarat dalam sekeping PCB

Gambar 47 memperlihatkan rangkaian pengolah isyarat sonde sensor impedansi yang telah selesai dan siap untuk dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan menancapkan elektroda sensor pada beberapa kelembaban terdefinisi dan hasil yang diperoleh berupa tegangan dan arus yang akan dibandingkan pada fasa comparator. Keluaran dari fasa comparator akan dibaca oleh komputer melalui rangkaian mikrokontroler. Hasil ini kemudian akan dibandingkan dengan pengukuran yang diperoleh melalui alat standar yang telah ada.

