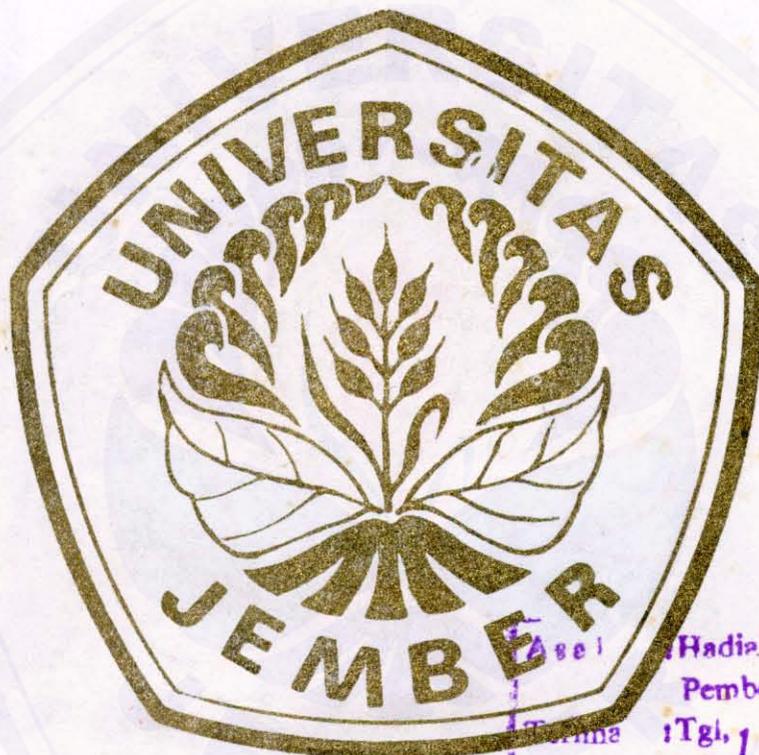




**APLIKASI SISTEM KAPASITANSI TOMOGRAFI
UNTUK MENGUKUR KECEPATAN ALIRAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Sains pada
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember



Ases | Hadiah
Pembelian
Tgl. 16 JUL 2003
No. Induk :
Klass 616.075
SAN
a

Oleh :

Hadi Santoso

NIM. 981810201064

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2003**

MOTTO

- Yang disebut orang besar adalah mereka yang bisa menggunakan otak orang lain untuk menyelesaikan pekerjaannya. (*Donn Pitt*)

- Pelajarilah olehmu akan ilmu sebab ilmu itu memberikan rasa takut kepada Allah, menuntunnya merupakan ibadah, mengulang - ulangnya merupakan tasbih, membahasnya merupakan jihad, mengerjakannya merupakan sedekah dan menyerahkan kepada Allah merupakan pendekatan diri (*HR. Ibnu Abdilbary*)

- Ketekunan dan kesabaran akan mengalahkan semua

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Setelah melewati perjalanan panjang dan atas izin-Nya akhirnya dapat terselesaikan karya kecil ini. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat serta terima kasih kupersembahkan karya ini kepada :

- 1) Ayahanda dan Ibunda tercinta, M. Sayat dan Busani atas sinaran kasih sayang yang tak pernah sepi dan sumbangan do'a yang selalu mengiringi dalam setiap langkah untuk menggapai cita-citaku;
- 2) Saudara-saudaraku, terima kasih atas perhatian dan dukungannya sehingga karya tulis ini dapat terselesaikan;
- 3) Vivi Iramaya Dewi yang senantiasa mendampingi dan memberikan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini;

Almamaterku yang kubanggakan, khususnya Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

DEKLARASI

Skripsi ini berisi hasil kerja/penelitian mulai bulan Januari 2003 sampai dengan April 2003 di Laboratorium Fisika Fisika Dasar dan Laboratorium Elektronika Dasar F.MIPA UNEJ. Bersama ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya kecuali jika disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada instansi lain.

Jember, Juni 2003

Hadi Santoso



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Pada hari : SABTU

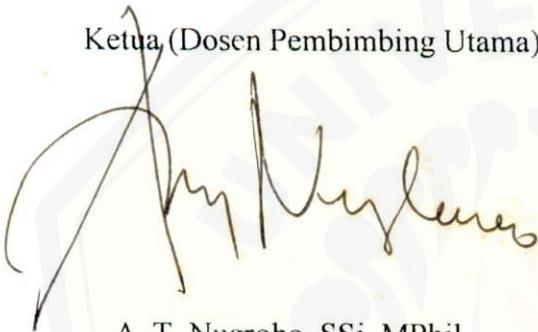
Tanggal : 28 JUN 2003

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua (Dosen Pembimbing Utama)

Sekretaris (Dosen Pembimbing Anggota)



A. T. Nugroho, SSi, MPhil
NIP. 132 085 972



Imam Rofi'i, MSc
NIP. 132 257 929

Anggota I

Anggota II



Agus Suprianto, SSi, MT
NIP. 132 162 507



Dra. Nanik Yulianti, MSi
NIP. 132 162 508

Mengetahui
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Ir. Sumadi, MS
NIP. 130 368 784

ABSTRAK

Aplikasi Sistem Kapasitansi Tomografi Untuk Mengukur Kecepatan Aliran. Hadi Santoso, 981810201064, Skripsi, Juni 2003, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Tomografi dapat digunakan untuk mengukur kecepatan aliran suatu fluida di dalam pipa (area tertutup) dengan menggunakan plat kapasitor. Pada penelitian ini akan digunakan dua buah pelacak (besi dan plastik). Pelacak tersebut akan dilewatkan pada sensor yang terletak di dalam pipa dengan jarak tertentu. Sensor yang digunakan adalah plat tembaga. Dimana jarak dari sensor 1 ke sensor 2 adalah 25 cm. Kemudian dengan menggunakan tali (benang) pelacak tersebut ditarik dengan kecepatan tertentu, diharapkan dengan menarik pelacak tersebut kedua sensor akan mengalami perubahan dielektrik (tegangan). Perubahan dari kedua sensor akan tertangkap melalui Avometer yang terhubung dari kedua sensor tersebut. Perubahan yang ditangkap adalah perubahan tegangan dari kedua sensor. Kemudian perubahan tersebut akan dijadikan data sebagai hasil dari penelitian ini. Data yang telah didapat diolah dengan metode normalisasi guna mendapatkan nilai kecepatan. Nilai kecepatan tersebut diketahui dari selang waktu yang ditempuh oleh pelacak (besi dan plastik) saat melewati sensor. Kemudian hasilnya akan diralat dengan menggunakan ralat standart deviasi. Dimana menurut hasil penelitian ini, dengan pelacak plastik menunjukkan nilai kesalahan sebesar 0.33% sedangkan hasil dari pada pelacak besi kesalahan 0.34%, artinya pelacak plastik lebih bagus dibandingkan dengan pelacak besi.

Kata kunci : Sistem Tomografi, pelacak (besi dan plastik), plat tembaga, sensor.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul Aplikasi Sistem Kapasitansi Tomografi dapat terselesaikan.

Penulisan skripsi ini guna memenuhi tugas akademis FMIPA UNEJ, untuk memperoleh gelar kesarjanaan. Berbagai kendala dalam penyusunan skripsi tidak dapat dihindari. Kendala tersebut dapat diatasi berkat adanya bantuan dan dorongan dari semua pihak. Dengan terwujudnya skripsi ini, tidak berlebihan jika penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

- 1) Agung Tjahjo Nugroho, SSI, MPhil sebagai Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Drs. Imam Rofi'i MSc sebagai Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang penuh kesabaran membimbing penulis dari awal sampai terbentuknya skripsi;
- 2) Ayahanda dan Ibunda terhormat, tercinta dan terkasih : M. Sayat dan Busani.
- 3) Saudara-saudaraku : Keluarga besar Saenukdin, Sunarti, Sanijo Purwanto, Supriyanto, Supriyatin, Sentot dan Embahku Tercinta yang selalu memberikan dukungan moral dan material hingga skripsi ini selesai.
- 4) Vivi Iramaya Dewi yang telah banyak memberikan dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir.
- 5) Tim Rental 33.Com (Andi, Hendra, Sony) yang banyak memberikan kemudahan fasilitas guna kelancaran penyelesaian skripsi;
- 6) Teman-temanku Sudarwanto, Benny, Pa'i, Suga, Bayu, Yuni, Erni, Febi dan Yeni serta adik angkatan '99 atas segala dukungan dan motivasinya;
- 7) Semua pihak yang turut memberikan dukungan, baik moril maupun materi dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis merasa masih banyak kekurangan dalam menyusun skripsi ini, sehingga perlu adanya kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan. Semoga semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini mendapatkan yang sepadan dari Allah SWT. Amin.

Jember, Juni 2003

Hadi Santoso

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
DEKLARASI	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	5
1.2 Permasalahan	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kapsitansi	6
2.2 Rangkaian RC	8
2.3 Gelombang Sinus	11
2.4 Rangkaian Sensor Elektroda	14
2.5 Rangkaian Integrator	17
2.6 Rangkaian Dasar Penguat Operasional	17
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	20
3.2 Metode Penelitian	20
3.2.1 Objek Yang Diteliti	20

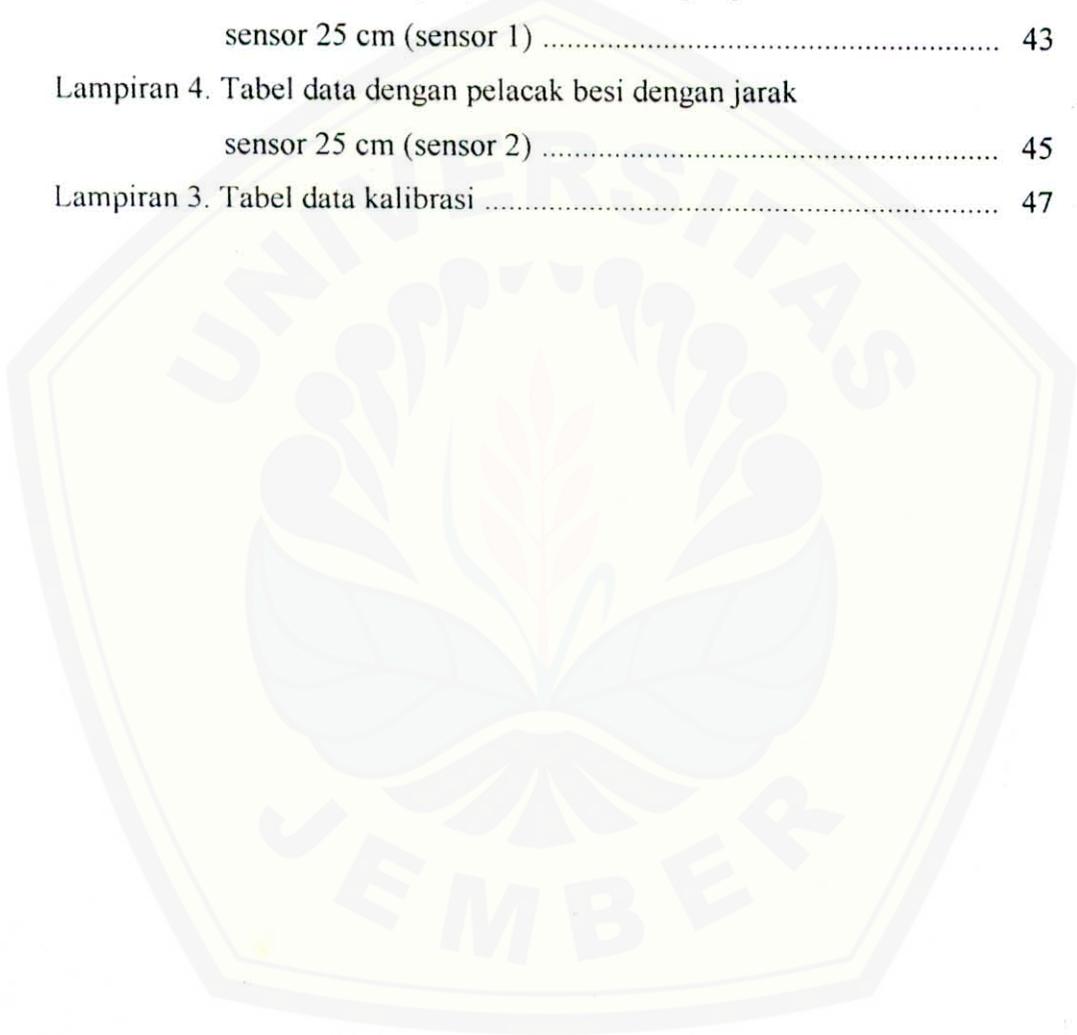
3.2.2 Konfigurasi Sensor	21
3.2.3 Frekuensi Kerja	22
3.2.4 Analisa Data	22
3.2.5 Matrik Pengambilan Data	24
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Implementasi Penelitian	25
4.1.1 Objek yang digunakan untuk pengambilan data	25
4.1.2 Konfigurasi plat kapasitor (sensor)	25
4.1.3 Cara pengambilan data	26
4.2 Kalibrasi alat	27
4.3 Investigasi Pelacak Besi dengan Jarak Sensor 25 cm	29
4.4 Investigasi Pelacak Plastik dengan Jarak Sensor 25 cm	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Representasi skematis dari kapasitansi	7
2.2 Rangkaian sederhana RC paralel	18
2.3 Perubahan arus $i(t)$ pada pengosongan kapasitor	9
2.4 Perubahan tegangan kapasitor dengan waktu	9
2.5 Bentuk isyarat masukan $V_s(t)$ dan isyarat keluaran $V_o(t)$	10
2.6 Gelombang periodik pulsa	11
2.7 Gelombang sinus dengan kecepatan v	12
2.8 Perbedaan potensial melalui kapasitor terbelakang terhadap arus selama sepecepat siklus	12
2.9 Rangkaian Skematik sensor kapasitansi untuk menentukan kecepatan aliran pipa	14
2.10 Diagram fasor	15
2.11 Desain rangkaian cincin elektrik yang dibelah	16
2.12 Output tegangan kapasitor	16
2.13 Rangkaian integrator	17
2.14 Rangkaian penguat Op-Amp	18
3.1 Konfigurasi sensor	21
3.2 Rangkaian sensor kapasitor	21
3.3 Rancangan rangkaian dua sensor plat kapasitor dengan op-amp	22
3.4 Penampang melintang pipa	23
3.5 Alur pelaksanaan penelitian	24
4.1 Prosedur pengambilan data	25
4.2 Kalibrasi pada sensor 1 pelacak besi	27
4.3 Kalibrasi pada sensor 2 pelacak besi	27
4.4 Kalibrasi pada sensor 1 pelacak plastik	28
4.5 Kalibrasi pada sensor 2 pelacak plastik	28
4.6 Data normalisasi pada pelacak besi	29
4.11. Data normalisasi pada pelacak plastik	32

DAFTAR LAMPIRAN TABEL

	Halaman
Lampiran 1. Tabel data dengan pelacak besi yang jarak sensornya 25 cm (sensor 1).....	39
Lampiran 2. Tabel data dengan pelacak plastik yang jarak sensornya 25 cm (sensor 2).....	41
Lampiran 3. Tabel data dengan pelacak besi dengan jarak sensor 25 cm (sensor 1)	43
Lampiran 4. Tabel data dengan pelacak besi dengan jarak sensor 25 cm (sensor 2)	45
Lampiran 3. Tabel data kalibrasi	47



BAB I
PENDAHULUAN



1.1. Latar Belakang

Sistem Tomografi adalah sistem yang digunakan untuk menggambar sebuah objek di dalam area tertutup tanpa merusak (melukai) medium yang diamati (Arko, 1999). Dewasa ini sistem tomografi baik digunakan untuk menyelesaikan masalah di bidang kedokteran dan industri. Bidang kedokteran misalnya menginginkan gambaran suatu objek tanpa merusak area (*CT Scanner*). Pada bidang industri mendeteksi suatu obyek tanpa merusak daerah yang dideteksi.

Tomografi awalnya dikembangkan untuk medis dan industri dengan menggunakan radiografi berupa sinar X. Pada dunia medis sinar X digunakan untuk Rongent. Di industri sendiri sinar X digunakan untuk mendeteksi kebocoran pipa. Akan tetapi efek dari sinar X sangat berbahaya terhadap manusia. Jika dosis radiasi sinar X 25 rem (0,25 seiver) dalam waktu beberapa hari, dapat mengurangi jumlah limposit dalam darah (Yowono, 1990). Sehingga untuk lebih amannya para ilmuwan berusaha mencari pengganti sinar X. Dengan demikian sistem kapasitansi tomografi merupakan salah satu solusi yang tepat sebagai pengganti sinar X.

Dari gambaran di atas, sistem tomografi merupakan solusi yang tepat untuk pengukuran kecepatan aliran fluida. Tomografi merupakan suatu tehnik untuk mengukur kecepatan aliran dalam sebuah pipa. Dengan menggunakan metode tomografi kapasitansi, kita akan mendapatkan kemudahan pengukuran kecepatan aliran di dalam pipa. Kapasitansi sangat mudah didapatkan di pasar. Selain itu data hasil pengukuran lebih akurat, harga murah, dan rangkaiannya lebih sederhana.

Sistem pengukuran kecepatan aliran dengan cara sistem tomografi merupakan terobosan baru. Sehingga sistem tomografi ini perlu untuk dikembangkan. Sebenarnya sistem ini merupakan pengembangan dari metode lama. Pengukuran kecepatan pernah dilakukan dengan cara konvensional (sampel sungai).

Banyak sekali cara pengukuran kecepatan yang telah dilakukan. Misal pengukur arus. Ada dua pengukuran arus yaitu :

- a. *Pengukuran arus tipe mangkok* dimana tipe ini hanyalah anemometer air. Alat akan berputar pada sumbu vertikal (Horst dalam Sehan, 1990).
- b. *Pengukuran arus tipe baling-baling* (pengukuran arus sekrup) dimana sumbu berkebalikan dengan tipe mangkok. Sekrup berputar pada suatu sumbu horisontal. Perputaran pengukuran secara manual maupun otomatis dicatat pada penghitungan. Untuk air yang turbulen, tipe baling-baling lebih disukai sedangkan untuk arus deras tipe mangkok yang lebih cocok. Kedua tipe tersebut cukup dapat dipercaya. Pada pengukuran ini alat digantungkan pada suatu kabel dan terjadi suatu deviasi sudut vertikal (θ), sehingga suatu korelasi diperlukan (Horst dalam Sehan, 1990).

Pengukuran terpadu, pengukuran arus digerakkan dengan suatu kecepatan yang konstan melalui vertikal dan diperoleh suatu integrasi langsung dari agihan kecepatan. Metode pengukuran terpadu masih membutuhkan metode baling-baling dalam pengukuran arus. Metode ini diharapkan tidak digunakan pada ke dalam yang kurang dari 1 meter. Metode ini memerlukan banyak peralatan dan banyak menyita waktu. Masalahnya jika sungai tersebut banyak sampahnya, aliran arus tidak begitu deras dan pengukuran membahayakan karena banjir. Maka metode tipe mangkok dan tipe baling-baling tidak dapat digunakan sehingga digunakan *metode pengukuran arus dengan pelampung*. Pengukuran global kecepatan aliran dilakukan dengan *pengukuran waktu pelampung* melewati jarak yang terukur. Akan tetapi metode pengukuran arus, pengukuran terpadu dan metode pelampung tidak dapat digunakan dalam sebuah bidang tertutup. Ketiga metode tersebut juga tidak praktis. Sehingga perlu dikembangkan sesuai dengan perkembangan jaman. Sistem tomografi sangat tepat untuk mengembangkan ketiga metode tersebut.

Setelah metode-metode konvensional tersebut, kemudian sedikit dikembangkan ke metode yang berbeda. Seperti traduser yang digunakan dalam menentukan pengukuran aliran. Masing-masing transduser memiliki kepekaan tertentu, seperti perubahan tekanan pengukuran massa panas termal. Misalnya

perbedaan pengukuran tekanan yang disebabkan oleh pembatas sebagai prinsip transduser. Prinsip ini sesuai dengan asas Bernaulli. Efek Bernaulli merupakan pengukuran penambahan dan pengurangan kecepatan fluida (baik cair atau gas). Pengukuran kecepatan dapat dilakukan dengan beberapa cara, misalnya *orifice plat* (lubang plat) dan *Flow nozzle* (pipa aliran).

- *orifice plat*

pengukuran *orifice plat* terdiri dari sebuah plat dengan lubang didalamnya. Tekanan akan bertambah tinggi sebelum atau masih di bawah garis batas, dan akan berkurang setelah melewati garis batas. Sebuah manometer (pengukur perubahan tekanan) untuk mengetahui berapa kecepatan rata-rata aliran. Metode ini hampir secara keseluruhan digunakan pada pengukuran aliran karena strukturnya sederhana, murah, dan mudah memasangnya. Kelemahan dari metode ini tingkat keakuratan kecil (Sparker. 1993).

- *Flow nozzle*

Flow nozzle pada prinsipnya sama dengan *orifice plat*. Bedanya pada tepi atau ujung batasan agak bulat. Dengan begitu kecepatan aliran rata-rata di atas akan lebih terpenuhi. Sehingga hasil pengukuran akan lebih valid dibandingkan dengan *orifice plat* (Sparker. 1993).

Dengan adanya kekurangan-kekurangan dalam metode-metode tersebut. Dewasa ini pengembangan dalam mengukur kecepatan aliran telah banyak dilakukan. Salah satu solusi dari permasalahan tersebut yaitu dengan mengukur kecepatan aliran menggunakan tehnik kapasitansi tomografi. Dengan metode ini diharapkan kita tidak lagi kesulitan dalam mendeteksi sesuatu yang terdapat di dalam sebuah penampang tertutup. Kecepatan sebuah aliran dapat mempengaruhi hasil dari sebuah industri. Maka dari sinilah kecepatan sebuah aliran harus diperhitungkan untuk menghasilkan sebuah keluaran yang baik sesuai yang diinginkan.

Kemudian sistem tomografi sebagai pengembangan dari metode yang pernah dilakukan. Metode-metode yang telah diuraikan di atas sudah tidak relevan lagi

dijaman yang terus berkembang seiring dengan kemajuan IPTEK. Selain itu, baik waktu maupun biaya tidak memungkinkan pengamatan yang demikian terinci.

Tomografi kapasitansi elektrik sudah pernah dilakukan untuk mengukur kecepatan dan konsentrasi partikel dalam sebuah pipa (Arko, 1999). Pada metode ini memerlukan 8 elektroda dengan panjang 75 mm. Jarak antara elektroda 1 dan 2 adalah 5 mm. Partikel yang digunakan berupa *plastic bead* dengan diameter 3-5 mm. Pipa yang digunakan berupa paralon dengan ukuran ± 100 mm. Hasil citra komputer menunjukkan suatu gambaran melintang pipa seperti dibawah ini.

- Terdapat fraksi udara dibagian atas pipa.
- Terlihat gambaran pipa penuh dengan partikel.

Hal ini terlalu rumit dan membutuhkan biaya cukup besar. Dengan metode yang akan kami lakukan kelemahan-kelemahan tersebut harapannya dapat terselesaikan.

Permasalahan dasar dari pengukuran aliran multi fase adalah distribusi kedua fase dan profil kecepatan. Karena perbedaan fase dapat mengacaukan dan merubah jalannya pencitraan. Perubahan yang muncul pada bermacam-macam aliran dihadirkan dalam peta aliran. Proses tomografi tidak hanya diaplikasikan pada pengidentifikasian bermacam-macam aliran dan batasannya, tetapi juga untuk parameter dalam skala mikro. Proses tomografi juga dapat digunakan untuk mengukur distribusi kecepatan sepanjang fase aliran.

Proses tomografi memberikan jumlah atau sebagian besar data dapat digunakan untuk permodelan multi fase yang sangat kompleks. Pendekatan statistik lebih didasarkan pada penampang lintang. Penentuan metode gangguan dalam menggambarkan interaksi multi fase yang kompleks. Sebagai hasil akhir proses tomografi dapat menghasilkan informasi dalam skala dua dimensi. Sehingga diharapkan proses tomografi mampu memainkan peranannya dalam rancangan instrumentasi, yaitu untuk analisa dan visualisasi aliran multi fase (Dyakowski, 1996).

Selanjutnya sistem kapasitansi tomografi akan diaplikasikan dalam sebuah penampang tertutup atau pipa. Kapasitansi akan diletakkan disisi pipa dengan jarak yang sudah ditentukan untuk mengetahui perubahan dielektrik yang

melewati pipa. Sebuah fluida yang melewati pipa akan diberi sensor guna mengukur berapa kecepatan dari fluida tersebut. Sensor yang akan digunakan adalah kapasitansi dengan menggunakan dua plat. Dari kedua plat kapasitansi tersebut akan mampu mengambil data. Rangkaian transduser tersebut akan dihubungkan dengan function generator sebagai input tegangan. Data yang akan ditampilkan adalah berupa perubahan tegangan yang ditampilkan oleh Avometer. Kemudian data tersebut akan diolah secara numerik. Sehingga perubahan kapasitansi yang terjadi akan dijadikan data untuk mengetahui besarnya kecepatan.

1.2. Permasalahan

- a. Bagaimana mengukur perubahan kapasitansi pada pipa dengan menggunakan sistem kapasitansi tomografi ?
- b. Bagaimana mengukur kecepatan aliran fluida dalam pipa dengan menggunakan sistem kapasitansi tomografi ?

1.3. Tujuan

- a. Mengukur perubahan kapasitansi pada pipa dengan menggunakan sistem kapasitansi tomografi
- b. Mengukur kecepatan aliran fluida dalam pipa dengan menggunakan sistem kapasitansi tomografi.

1.4. Manfaat

Penelitian ini akan sangat berguna sebagai tambahan wawasan untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sistem Kapasitansi Tomografi dapat digunakan untuk mengukur kecepatan aliran fluida dalam pipa, sehingga dapat diaplikasikan dalam dunia Industri.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapasitansi

Kapasitor merupakan dua buah plat konduktor yang dipisahkan oleh suatu isolator atau dielektrik. Kapasitor ini mempunyai kemampuan menyimpan muatan. Masing-masing plat konduktor yang mempunyai luas plat A dan jarak antar plat d dengan permitivitas dielektrik ϵ maka nilai kapasitansinya menjadi :

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (2.1)$$

Setiap elemen memiliki sifat kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan muatan listrik oleh sebab itu digunakan untuk menyimpan tenaga medan. Elemen rangkaian kapasitansi adalah kemampuan suatu elemen dalam menyimpan muatan. Bahkan arus yang melalui elemen tersebut sebanding dengan turunan tegangan melalui elemen tersebut.

$$i = C \frac{dv}{dt} \quad (2.2)$$

dengan memecahkan persamaan (1) untuk tegangan dihasilkan (Silaban, 1981)

$$v = \frac{1}{C} \int i dt \quad (2.3)$$

$$v = \frac{q}{C} \quad \text{dan} \quad q = C v \quad (2.4)$$

Konstanta kesebandingan (C) menyatakan sifat penyimpanan muatan dari elemen tersebut dan dinamakan *kapasitans* elemen. Dimana Q dalam satuan coulomb dan v dalam volt, serta C dalam *farad* (F). Satu farad adalah sebuah satuan yang besar, sehingga C dinyatakan dalam *mikrofarad* (10^{-6} farad atau μF) atau dalam *pikofarad* (10^{-12} farad atau pF).

Representasi skematis dari kapasitans dalam mana arah referensi arus dan arah referensi tegangan ditunjukkan pada gambar 2.1. Penurunan tegangan terdapat dalam arah arus. Muatan mengalir dari potensial yang lebih tinggi ke potensial yang lebih rendah, yakni dari tanda tambah ke tanda kurang. Dari sini

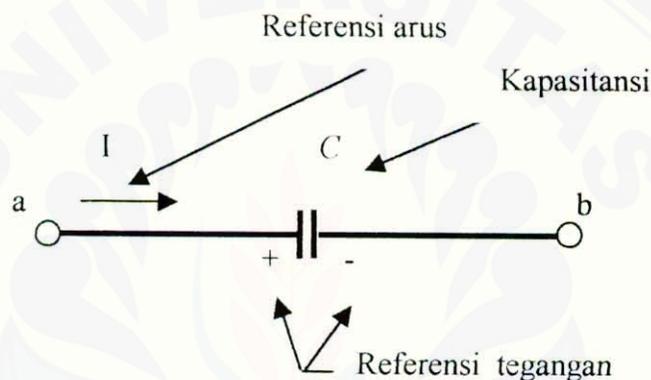
dinyatakan tenaga dapat dipindahkan dari rangkaian dan disimpan. Efek kapasitif dapat dipikirkan sebagai efek yang melawan perubahan arus. Daya yang diasosiasikan dengan sebuah kapasitansi adalah :

$$p = vi = Cv \frac{dv}{dt} \text{ watt} \quad (2.5)$$

dan tenaga adalah

$$w = \int p dt = \int Cv \frac{dv}{dt} dt = \int Cv dv = \frac{1}{2} Cv^2 \quad (2.6)$$

Nilai tenaga yang tersimpan dalam kapasitor, bergantung pada besarnya tegangan dan tidak bergantung pada cara untuk mencapai besarnya tegangan tersebut.

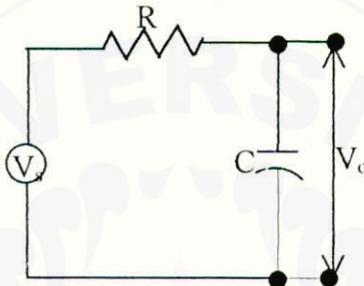


Gambar 2.1. Representasi skematis dari kapasitansi

Jika sebuah kapasitor dikosongkan dengan menempatkan sebuah resistor melalui kapasitor, maka sebuah arus yang mengalir dalam resistor tersebut akan tersimpan sebagai kalor dalam resistor. Bila sebuah hubungan pendek (*short circuit*), yakni sebuah elemen yang resistansinya nol, ditempatkan melalui terminal-terminal kapasitor, maka tenaga yang tersimpan diradiasikan ke lingkungan sekitarnya. Akan tetapi, secara praktis dapat dikatakan tidak ada elemen yang resistansinya sama dengan nol, sehingga tenaga tersebut diubah menjadi kalor atau suatu bunga api yang dihasilkan.

2.2 Rangkaian RC

Rangkaian RC merupakan elektronika sederhana yang terdiri dari dua elemen yaitu kapasitor dan resistor. Jika kapasitor dengan kapasitansi C dihubungkan dengan sumber tegangan V , maka akan terjadi proses pengisian dan pengosongan muatan kapasitor. Dimana proses ini memegang peranan penting dalam bidang elektronika. Proses ini berlaku singkat sehingga arus yang mengalir mengecil seiring waktu. Hal ini berarti arus hanya timbul sebentar (sementara) atau dikenal dengan arus transien.



Gambar 2.2 Rangkaian sederhana RC paralel

Pada saat dihubungkan dengan tegangan V_s maka setelah beberapa waktu didalam kapasitor akan terkumpul muatan sebanyak :

$$q = CV \quad (2.7)$$

Dimana isi muatan ini akan tetap tersimpan dalam kapasitor selama tak ada kebocoran muatan yang mengalir dari plat kapasitor yang satu ke yang lain. Setelah nilai muatan q tercapai, maka kapasitor dikatakan terisi penuh. Namun, kapasitor tidaklah langsung terisi penuh, akan tetapi memerlukan waktu.

Pada saat t , kapasitor yang mula-mula kosong akan mendapat muatan sebesar :

$$q(t) = \int_0^t i dt \quad (2.8)$$

dengan beda tegangan sebesar :

$$V_c(t) = \frac{Q(t)}{C} = \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (2.9)$$

Sedangkan beda tegangan antara kedua ujung resistor R menjadi :

$$V_{ab} = \varepsilon - V_C(t)$$

$$V_{ab} = \varepsilon - \frac{1}{C} \int_0^t i dt = iR \quad (1.10)$$

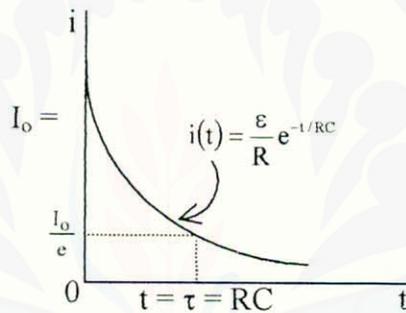
Oleh karena $V_C(t)$ terus bertambah sedang V_{ab} terus berkurang maka $i(t)$ pun ikut terus berkurang sebesar :

$$i = A e^{-t/RC} \quad (2.11)$$

Pada $t = 0$ yaitu pada saat kapasitor belum terisi maka $V_C(t) = 0$ dan

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC} \quad (2.12)$$

Harga eksponensial menunjukkan bahwa arus $i(t)$ turun secara eksponensial. Perubahan arus i terhadap t dapat dilihat pada gambar (3).



Gambar 2.3. Perubahan arus $i(t)$ pada pengosongan kapasitor

Gambar di atas memperlihatkan proses pengosongan muatan pada kapasitor. Pada saat $t = RC$ maka

$$i(t = RC) = \frac{I}{e} \frac{\varepsilon}{R} \quad (2.13)$$

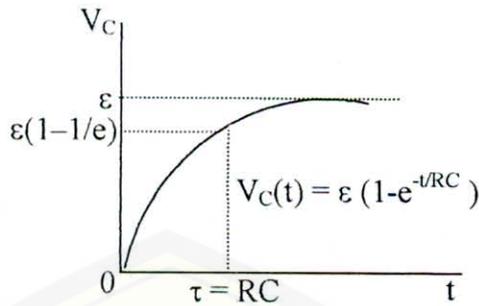
Dimana $I = I_0/e$ dan e merupakan bilangan natural sebesar 2,712. Sedangkan $t = RC$ disebut tetapan waktu kapasitif (τ) sehingga $\tau = RC$ (Sutrino, 1998).

Pada saat kapasitor diisi (proses pengisian), tegangan kapasitor bertambah dengan waktu sebesar :

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = \frac{1}{C} \int_0^t \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC} dt$$

$$V_C(t) = -\varepsilon(e^{-t/RC} - 1) = \varepsilon(1 - e^{-t/RC}) \quad (1.14)$$

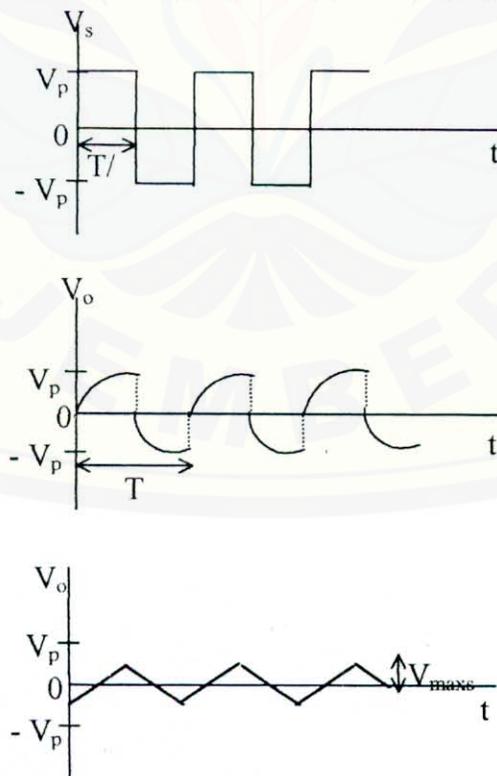
Sehingga pada saat $\tau = RC$ maka $V_C(t) = \epsilon$ yang menunjukkan kapasitor penuh. Grafik perubahan tegangan kapasitor V_C terhadap t ini dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.4. Perubahan tegangan kapasitor dengan waktu

Dari gambar di atas terlihat bahwa semakin besar harga $\tau = RC$ maka semakin lama pengisian kapasitor hingga penuh (pencapaian $V_C = \epsilon$) (Sutrisno, 1986). Dengan demikian makin besar hambatan R , arus untuk mengisi kapasitor semakin kecil. Begitu pula jika C besar maka diperlukan waktu yang lama untuk mengisi hingga penuh.

Dari proses pengisian dan pengosongan muatan di atas, dapat digambarkan grafik isyarat masukan untuk tegangan $V_s(t)$ dan $V_o(t)$ nya sebagai berikut :

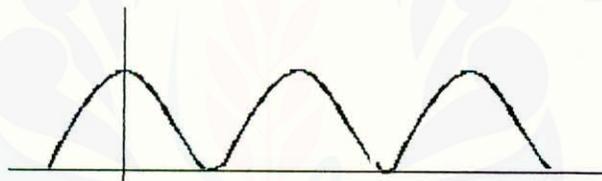


Gambar 2.5. Bentuk isyarat masukan $V_s(t)$ dan isyarat keluaran $V_o(t)$

Seperti ditunjukkan pada gambar di atas, jika $\tau = RC \ll T$ (periode) maka kapasitor terisi penuh dalam waktu $T/2$. Akan tetapi, jika $\tau = RC \gg T$ maka sebelum kapasitor terisi penuh, tegangan V_s sudah berbalik menjadi negatif. Akibatnya kapasitor segera dikosongkan dan diisi muatan negatif menuju ke $-V_p$ (tegangan puncak). Belum lagi kapasitor terisi penuh, V_s sudah berubah tanda lagi. Akibatnya isyarat keluaran akan berupa suatu tegangan yang berbentuk gelombang segitiga. Untuk $\tau \gg RC$, bentuk isyarat keluaran seperti integral isyarat masukan (Sutrino, 1986).

2.3 Gelombang Sinus

Gelombang periodik merupakan suatu gelombang gangguan tunggal dalam suatu medium, biasanya lebih dikenal dengan gelombang pulsa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Gelombang periodik pulsa

Pada umumnya gelombang periodik juga disebut sebagai gelombang tali. Karena bentuknya sama dengan tali yang ujungnya diikatkan pada paku yang menempel di dinding, kemudian ujung yang satu di diayunkan sehingga terbentuk gelombang periodik. Jika kita lihat bentuk gelombang periodik pada gambar 6 maka akan kita dapatkan jarak antara dua pulsa yang sama. Jarak antara dua puncak pada gelombang periodik tersebut disebut *Panjang Gelombang* yang dinyatakan λ (Sutrisno, 1979).

Jika dihubungkan panjang gelombang (λ) dengan waktu periode (T), maka waktu periode gelombang adalah satu panjang gelombang. Jika gelombang bergerak dengan kecepatan (v) maka akan diperoleh hubungan antara v , λ , T yaitu:

$$v = \frac{\text{jarak yang ditempuh}}{\text{selang waktu}} = \frac{\lambda}{T} \quad (2.15)$$

Akan tetapi besaran periode sangat berhubungan dengan frekuensi (f). Frekuensi adalah banyaknya puncak gelombang yang melalui suatu titik persatuan waktu atau dapat ditulis dengan persamaan $f = \frac{1}{T}$.

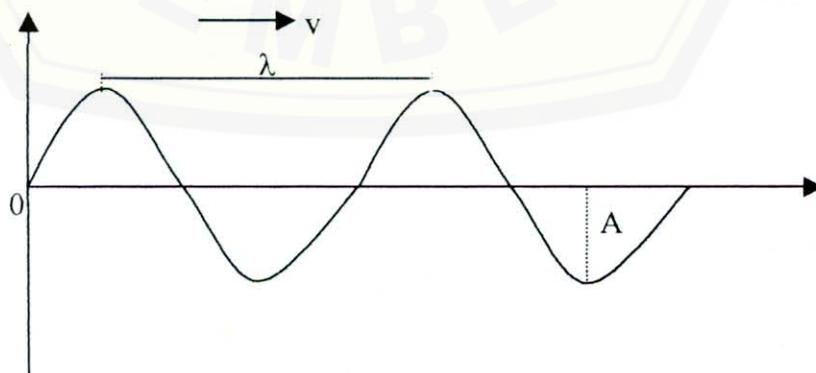
Suatu bentuk khusus gelombang periodik yang sangat penting adalah gelombang sinus. Sumber untuk gelombang sinus bermacam-macam, contoh paling sederhana ialah tali yang diikat pada paku yang kemudian digerakkan sehingga terjadi suatu gelombang yang menjalar. Setelah selang waktu tertentu, pada tali akan terjadi bentuk fungsi sinus yang menjalar ke kanan dan berkecepatan (v).

Pada umumnya persamaan fungsi gelombang sinus dituliskan :

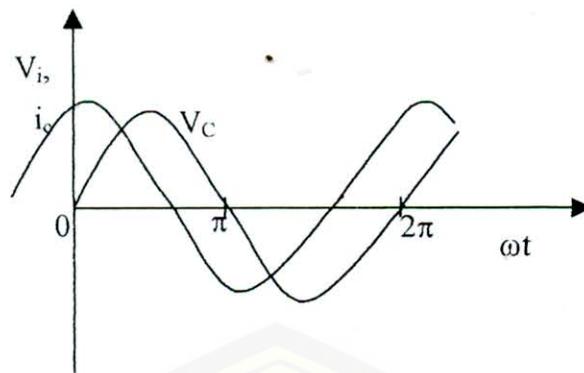
$$y = A \sin k(x - vt) \quad (2.16)$$

Dimana y menyatakan simpangan tali pada basis, t menyatakan waktu, v menyatakan kecepatan laju gelombang, k menyatakan konstanta yang menunjukkan fungsi besaran sudut dengan satuan radial dan x menyatakan jarak antar titik pengamatan (Sutrisno, 1979).

Bentuk gelombang berbentuk fungsi sinus dengan fungsi gelombang $y = A \sin k(x - \omega t + \phi_0)$. Dimana $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ sebagai bilangan gelombang dan λ jarak dua puncak fungsi sinus.



Gambar 2.7. Gelombang sinus dengan kecepatan v



Gambar 2.8. Perbedaan potensial melalui kapasitor terbelakang terhadap arus selama seperempat siklus

Kalau kita tinjau perbedaan potensial kapasitor dengan teorema simpal dapat dituliskan :

$$V_c = \epsilon_m \sin \omega t \quad (2.17)$$

Jika kita hubungkan persamaan 4 dengan 15 maka akan didapatkan

$$i_c = \omega C \epsilon_m \cos \omega t \quad (\text{Silaban, 1984}) \quad (2.18)$$

Dari persamaan tersebut V_c dan i_c sangat terpengaruh terhadap perubahan waktu. Perubahan waktu yang dimaksud adalah perbedaan fase sebesar seperempat siklus (gambar 2.8).

Perubahan kapasitansi terhadap reaktansi kapasitif (X_c) yang persamannya dapat ditulis :

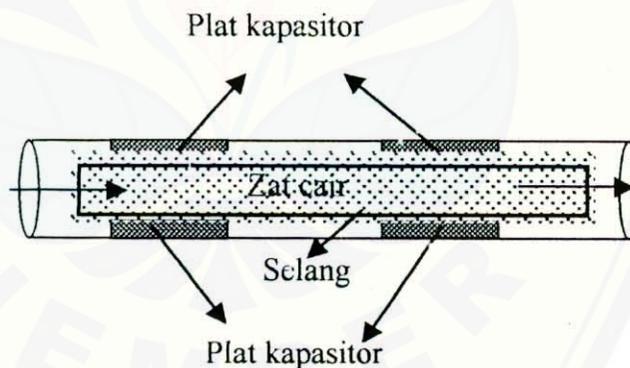
$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad (2.19)$$

Dari persamaan harga C berbanding terbalik dengan nilai reaktansi kapasitif. Sedangkan nilai X_c bergantung terhadap frekuensi arusnya (ω) (Soegijono B, 1996). Jika frekuensi arus semakin besar maka X_c semakin kecil, sehingga jika X_c kecil maka i_{\max} besar dan C menjadi besar.

2.4 Rangkaian Sensor Elektroda

Telah disebutkan bahwa instrumen ini menggunakan sistem sensor elektroda dengan rangkaian palat kembar ECT (*electrical capacitansi tomografi*). Tentang pengaruh ruang filter pada sensor kapasitansi untuk menyatakan bagaimana menentukan aliran massa dalam pipa saluran, yaitu elektroda pertama harus memiliki diameter yang sama. Dengan demikian koefisien panjang elektroda menunjukkan ratio keefektifan dari panjang elektroda dan panjang sesungguhnya (Arko, 1999).

Sistematika sistem kapasitansi tomografi pada dasarnya merupakan sistem yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran yang menggunakan dua sistem pengukuran yang dikombinasikan yaitu ECT (*electrical capacitansi tomografi*) dan ERT (*electrical resistance tomografi*). Sistem ini digunakan untuk mengetahui konsentrasi dan kecepatan partikel di dalam pipa. Input berasal dari muatan elektrodinamika dengan menggunakan sensor elektroda. Secara skematis dapat ditunjukkan seperti gambar berikut:

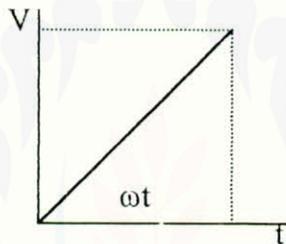


Gambar 2.9. Rangkaian skematik sensor kapasitansi untuk menentukan kecepatan aliran dalam pipa

Pada dua plat elektroda (kapasitansi) tersebut diharapkan mendapat output berupa pulsa. Selain itu plat tersebut diberikan tegangan sumber yang berubah terhadap waktu secara sinus terdapat pada gambar 2.8, sehingga pulsa keluaran yang diharapkan berupa gelombang sinus. Karena untuk melukiskan kurva sinus tidak mudah, maka untuk mengetahui keadaan setiap saat yang berubah tersebut

sering digunakan diagram fasor. Diagram fasor adalah suatu besaran yang dinyatakan dengan anak panah yang berorientasi terhadap titik pangkal, yang arahnya bertentangan dengan arah jarum jam. Panjang fasor sebanding dengan harga amplitudo (Soehartono,1992).

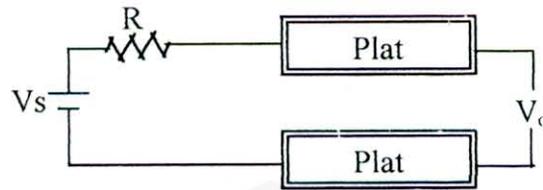
Sekarang akan kita tinjau bahwa nilai kapasitansi yang berubah karena dielektrik suatu bahan sebagai suatu sinyal yang periodik. Sinyal periodik tersebutlah yang akan dijadikan output. Dengan adanya keluaran yang berupa pulsa (gelombang sinus) diharapkan lebih mudah dalam menentukan kecepatan alir zat cair tersebut. Hal yang sangat membantu dalam penyelesaian secara matematis adalah diagram fasor.



Gambar 2.10. Diagram fasor

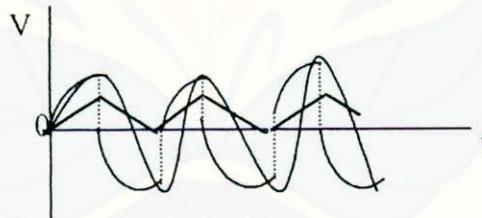
Dari persamaan 1 di atas dapat diketahui fungsi yang lebih tepat dinyatakan dengan $C = f(\epsilon, d, A)$. Jika nilai d (jarak antar plat) dan luas penampang (A) dianggap tetap atau konstan, tapi dielektrik bahan berubah-ubah maka persamaan tersebut dapat dituskan $C + \Delta C = f\{(\epsilon + \Delta\epsilon), d, A$. Dari sini dapat kita lihat bahwa nilai kapasitansi bergantung pada dielektrik bahan. Selanjutnya dari kedua rumusan tersebut akan didapatkan nilai kapasitansi. Secara fisis fungsi kapasitansi memiliki periodisitas terhadap waktu, sehingga dapat dituliskan $C = f(\epsilon)$ atau $C(t) = f\{\epsilon(t)\}$.

Jika Gambar 2.9 di atas kemudian dibelah menjadi cincin (plat elektrik) maka akan terlihat seperti gambar 2.11.



Gambar 2.11. Desain rangkaian cincin elektrik yang dibelah (plat elektrik)

Rangkaian tersebut menggambarkan kondisi plat elektrik saat dihubungkan dengan rangkaian RC. Katoda akan dihubungkan dengan salah satu plat elektrik (plat elektrik1), sehingga akan muncul keluaran V_o dari plat elektrik. Dari keluaran kapasitor tersebut maka akan kita dapatkan gelombang pulsa (gelombang gergaji) yang terjadi akibat proses pengisian dan pengosongan kapasitor.

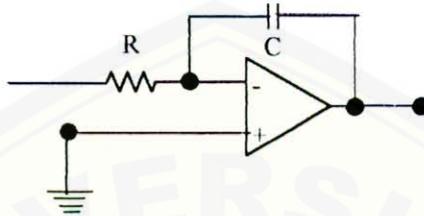


Gambar 2.12. Proses Pengisian dan Pengosongan Kapasitor

Dengan adanya proses pengosongan dan pengisian pada kapasitor maka akan terjadi perubahan tegangan. Perubahan tegangan diakibatkan karena adanya perubahan dielektik pada kapasitor. Jika dilihat dari output tegangan pada gambar 2.12 terlihat bahwa pada saat pengisian terjadi grafik cenderung naik dan pada proses pengosongan grafik turun.

2.5 Rangkaian Integrator

Keluaran suatu rangkaian, *integrator* sebanding dengan integral masukannya. Gambar 2.13 memperlihatkan suatu rangkaian integrator. Secara analisa serupa dengan analisis rangkaian pembalik dengan pengecualian; persamaan volt-ampere untuk kapasitansi dipakai sebagai pengganti hukum Ohm yang menghubungkan v_o dengan v_i . Persamaannya adalah :



Gambar 2.13 Rangkaian Integrator

$$v_o = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^i i_o(x) dx \quad (2.20)$$

Karena arus masukan ke penguat sama dengan nol dan tegangan antara kedua masukan penguat juga nol, maka persamaan hukum arus Kirchhoff pada simpul antara R dan C adalah :

$$i_i + i_o = \frac{v_i}{R} + i_o = 0 \quad (2.21)$$

Dengan menyelesaikan persamaan untuk i dan menyisipkannya kepersamaan 2.20 menghasilkan

$$V_o = \frac{1}{RC} \int_{-\infty}^i v_1(x) dx \quad (2.22)$$

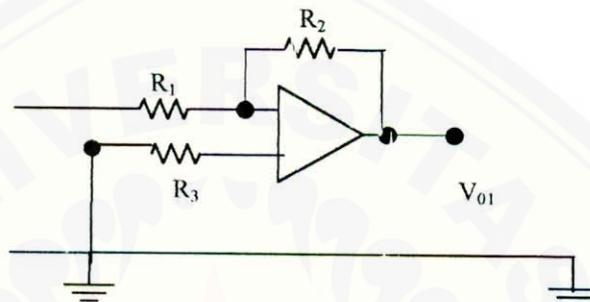
Yang membuktikan bahwa keluaran rangkaian tersebut sebanding dengan integral masukannya (Mismail. B, 1995).

2.6 Dasar Penguat Operasional

Op-amp (*operasional amplifier*) adalah penguat diferensial dengan dua masukan dan satu keluaran yang mempunyai penguat tegangan yang amat tinggi, yaitu orde 10^5 (Sutrisno, 1987). Kedua masukan tersebut adalah masukan

pembalik dengan tanda minus (INV) dan masukan bukan pembalik dengan tanda positif (NON-INV). Op-amp diharapkan dapat membantu dalam sensor kapasitansi ini. Karena jika tegangan kurang tidak akan terdeteksi secara tepat oleh osiloskop.

Untuk lebih mendapatkan nilai yang akurat maka diperlukan adanya penguat (Op-amp). Dengan adanya Op-amp dapat mempermudah hasil keluaran sesuai dengan yang diinginkan. Penguat yang akan digunakan dalam rangkaian adalah rangkaian inventer.



Gambar 2.14. Rangkaian Penguat Op-amp

Rangkaian RC yang telah dibahas sebelumnya, akan dihubungkan dengan Op-amp sebagai penguat sinyal. Dengan adanya penguat diharapkan dapat membantu dalam proses pengambilan data yang akurat, dan mampu memberikan solusi terbaik dalam sensor ini.

Untuk mengurangi *noise* (gangguan) yang terjadi dalam rangkai (sensor) maka digunakan *filter* (tapis). Tapis yang paling sederhana dan sering dipakai adalah tapis RC lolos rendah dan tapis RC lolos tinggi. Dimana pengertian dari *filter* RC lolos tinggi yaitu jika frekuensi tinggi maka outputnya akan sama dengan nilai masukannya, akan tetapi jika frekuensi rendah maka isyarat keluaran akan diperbesar. *Filter* RC lolos rendah yaitu jika frekuensi rendah maka keluaran akan sama dengan nilai masukan, jika frekuensi tinggi maka isyarat keluaran diperkecil.

Dari keterangan di atas filter ini berubah terhadap frekuensi. Di samping perubahan frekuensi dan tegangan pada nilai keluarannya, juga mengalami

perubahan fase. Jika kita lihat di atas maka frekuensi tinggi C kapasitansi mempunyai reaktansi sebesar $X_c = \frac{1}{\omega C}$. Nilai keluaran op-amp inverting

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \text{ dan data keluaran dari rangkaian gambar 2.14 adalah } V_o = R_2 \left[\frac{V_i}{R_1} + C \left(\frac{dV_i}{dt} \right) \right] \text{ jika nilai } R_2 \gg R_1, \text{ maka } V_o = R_2 C \left(\frac{dV_i}{dt} \right).$$

Rangkaian di atas akan diletakkan pada titik (jarak) yang berbeda, misal rangkaian satu sebagai sensor 1 dan titik lain sebagai sensor 2. Sensor 1 akan memberikan perubahan tegangan yang kemudian pada sensor 2 akan perubahan tegangan tersebut akan muncul kembali. Data yang identik dengan perubahan data pada sensor 1. Akan tetapi data dari kedua sensor tersebut akan dibedakan oleh interval waktu (selang waktu). Untuk menentukan perubahan tegangan pada sensor 1 apakah sudah sampai di sensor 2 dengan melihat perubahan tegangan maksimum kedua sensor.



3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan April 2003 di Laboratorium Elektronika Dasar dan Laboratorium Fisika Dasar, jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jember.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimen. Pertama, mendesain rangkaian sensor yang akan diletakkan dalam pipa. Kemudian pipa tersebut dimasuki selang untuk melindungi sensor dari pelacak (besi atau plastik). Sensor terletak antara pipa dan selang.

Selanjutnya pelacak tersebut dimasukkan dalam pipa dan ditarik dengan kecepatan dalam selang waktu tertentu. Sehingga data yang diterima (tegangan) di sensor 1 diharapkan akan kembali tampil di sensor 2 dengan selang waktu tertentu. Perubahan yang terjadi pada sensor 1 dan sensor 2 akan terlihat pada Avometer. Pengambilan data (tegangan) dengan frekuensi tetap, dimana yang diubah jenis pelacaknya. Untuk mempermudah dalam penelitian, maka variabel-variabel seperti turbulen, gelembung air dianggap konstan (homogen), sehingga ketika pelacak melewati sensor 1 data akan kembali tampil kembali di sensor 2.

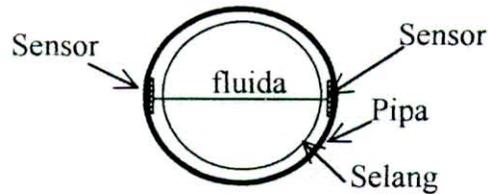
3.2.1 Obyek Yang Diteliti

Obyek yang akan diteliti adalah pelacak berupa besi dan plastik yang dilewatkan pada pipa yang berisi fluida. kemudian ditarik dengan kecepatan (konstan) dalam selang waktu tertentu. Sebelumnya penelitian serupa pernah dilakukan dengan menggunakan serpihan gabus atau busa (Arko, 1999). Tapi dalam penelitian ini obyek yang akan diukur adalah perubahan tegangan yang disebabkan oleh pelacak besi dan plastik.

Berdasarkan eksperimen-eksperimen sebelumnya maka dalam penelitian kali ini digunakan pipa dengan diameter 4,5 cm dengan panjang 54 cm. Hal ini dikarenakan pipa dengan diameter di atas lebih mudah didapatkan dan banyak

digunakan dalam aplikasinya terutama untuk aliran fluida. Sehingga diharapkan hasil penelitian ini akan memberikan manfaat yang lebih nyata.

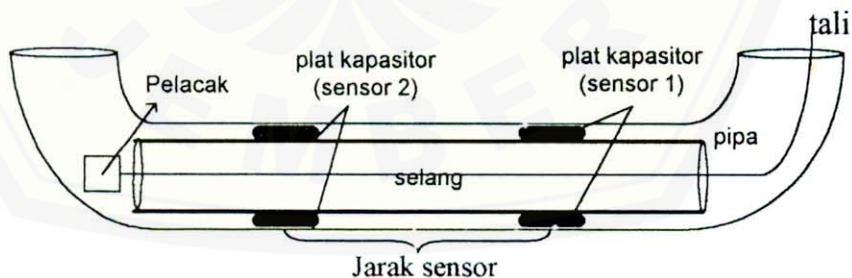
3.2.2 Konfigurasi Sensor



Gambar 3.1 Konfigurasi plat kapasitansi

Seperti pada gambar (3.1), dalam penelitian ini konfigurasi plat dibuat menempel di dalam pipa yang dibatasi oleh selang. Secara umum plat yang sering digunakan adalah 4, 6, 8, 12 sampai 16 plat (Yang, 1999). Akan tetapi dalam penelitian ini digunakan 2 buah plat untuk lebih mempermudah mendapatkan perubahan dielektrik. Lebar plat 2 cm dengan panjang 3 cm dan jarak antar plat 1,5 cm.

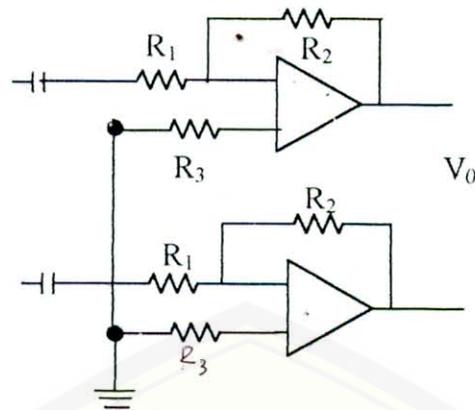
Konfigurasi transduser yang akan dilakukan adalah dengan meletakkan plat kapasitansi (plat tembaga) di dalam pipa. Dimana jarak plat (kapasitor sensor 1) terletak 25 cm dengan sensor 2. Jarak sensor 1 dan sensor 2 yang pernah dilakukan yaitu jauh 5 cm (Arko, 1999). Dari sensor 1 akan didapatkan data yang diperoleh dari perubahan dielektrik dalam bentuk perubahan tegangan. Kemudian sensor 2 juga akan menangkap data yang sama. Selanjutnya data tersebut yang akan diolah. Untuk lebih jelasnya kita lihat gambar 3.2 :



Gambar 3.2 Rangkaian sensor kapasitor

Untuk memudahkan penampilan data maka dibutuhkan penguat (Op-amp). Op-amp akan diletakkan dalam rangkaian yang dihubungkan dengan sensor 1 dan sensor 2 untuk mendapatkan data. Dimana tampilan data yang diharapkan

berupa perubahan tegangan dengan memberikan pelacak. Rangkaian sensor yang telah di buat dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rancangan rangkaian dua sensor plat kapasitansi dengan op-amp

3.2.3 Frekuensi Kerja

Dalam melakukan eksperimen ini, frekuensi yang diharapkan tinggi atau besar (tegangan sumber). Besarnya frekuensi mempengaruhi nilai kepekaan sensor. Nilai frekuensi yang telah digunakan sebesar 1000 Hz sebagai frekuensi kerja (V_{in}).

3.2.4 Analisa Data

Data didapat dari perubahan tegangan yang disebabkan oleh perubahan dielektrik (kapasitansi) yang terdapat pada sensor. Hal tersebut disebabkan adanya informasi sinyal yang diperoleh pada saat sensor kapasitor mengalami perubahan yang disebabkan pergerakan pelacak, sehingga akan terjadi perubahan dielektrik. Perubahan ini kemudian akan dijadikan data awal (sensor 1) dan data kedua akan didapat dari sensor 2. Untuk memperjelas atau memudahkan maka kedua sensor tersebut dihubungkan dengan Op-amp (penguat). Maka data yang diperoleh dari kedua sensor dapat ditampilkan dalam bentuk perubahan tegangan, sehingga data mudah untuk dianalisa. Data yang berupa perubahan tegangan tersebut akan dibedakan oleh selang waktu (t). Besarnya perubahan waktu dibuat konstan yaitu per 1 detik setiap data. Kemudian data yang didapat diolah untuk mengetahui kecepatannya alirannya dengan metode normalisasi.

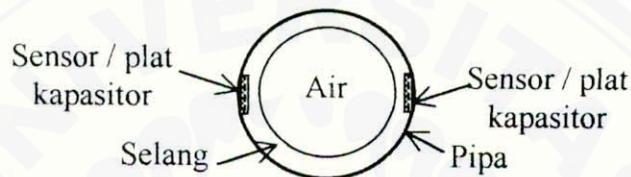
Sensor 2 pada prinsipnya sama dengan sensor 1 dalam penangkapan atau pengambilan data hanya yang membedakan antara sensor 1 dan sensor 2 adalah waktu dan jarak. Dari perbedaan waktu tersebut akan didapatkan harga kecepatan, sebab jaraknya diketahui. Persamaan kecepatan dituliskan $v = \frac{s}{t}$ dimana :

v : kecepatan

s : jarak antar sensor

t : waktu yang ditempuh fluida dari sensor 1 ke sensor 2

Jika kita melihat salah satu penampang lintang atau salah satu sensor dibelah maka akan terlihat seperti berikut :



Gambar. 3.4 Penampang melintang pipa

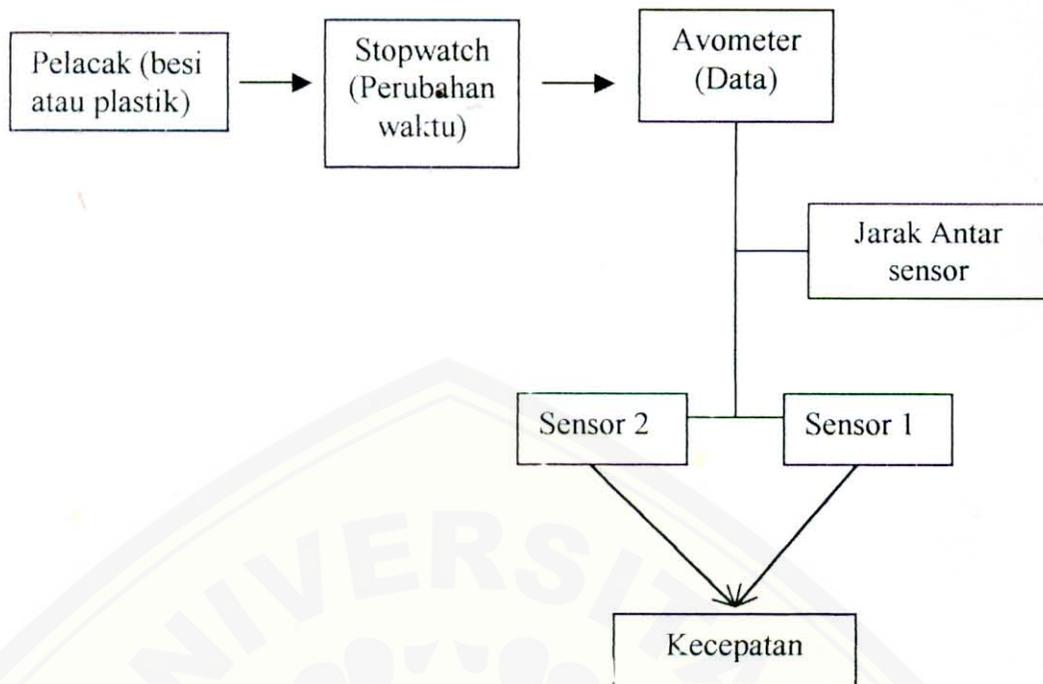
Dari gambar 3.2 dapat terlihat bahwa sensor terlindungi oleh selang, yang kemudian tepat pada posisi sensor selang diberi lubang untuk meningkatkan kepekaan atau sensitifitas sensor terhadap perubahan tegangan.

Karena keterbatasan dalam pengamatan dan sering terjadi kesalahan dalam pengukuran, maka hasil pengukuran juga tidak akan tepat atau adanya kesalahan dalam pengukuran. Jika data yang diambil lebih dari satu maka perlu adanya ralat. Dimana ralat yang akan digunakan adalah ralat simpangan baku, data yang akan diralat adalah nilai kecepatannya sebesar :

$$\text{Ralat mutlak } \Delta v = \sqrt{\frac{\sum (v - \bar{v})^2}{n(n-1)}}, \text{ Ralat relatif} = \frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\% \text{ dan nilai}$$

keseksamaannya $K = 100\% - I$ sehingga hasil pengukuran = $(\bar{v} \pm \Delta v)$.

3.2.5 Matrik Pengambilan Data



Gambar 3.5 Alur pelaksanaan penelitian

**BAB V****KESIMPULAN DAN SARAN****5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari hasil penelitian mengenai pengukuran kecepatan fluida dalam pipa dengan Sistem Kapasitansi Tomografi dengan memvariasi jenis pelacak adalah :

1. Dalam penelitian ini perubahan tegangan akan ditangkap oleh sensor kapasitor dengan menggunakan Avometer. Dimana perubahan tegangan maksimum di sensor 1 dan sensor 2 merupakan selang waktu (Δt), sehingga dengan mengetahui selang waktu maka nilai kecepataannya dapat diketahui.
2. Dengan menggunakan pelacak besi dan plastik dalam pengambilan data untuk mencari nilai kecepatan menunjukkan bahwa pelacak plastik lebih bagus dibandingkan dengan pelacak besi. Hal ini dapat ditunjukkan dengan melihat nilai kesalahan dari kedua pelacak yaitu pelacak besi memiliki nilai kesalahan 1,34% sedangkan pelacak plastik 1,33%. Selain itu plastik juga memiliki nilai dielektrik yang lebih bagus dibandingkan dengan besi.

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti kemukakan adalah :

1. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengukuran kecepatan aliran fluida dalam pipa (area tertutup) dengan memperhitungkan parameter-parameter seperti aliran turbulen, gelembung, dan dapat juga menggunakan rangkaian dengan clock (otomatis) yang digital.
2. Mengembangkan penelitian lebih lanjut dengan memvariasi besar dan panjang pipa.
3. Salah satu faktor penyebab kesalahan dalam penelitian ini disebabkan karena penarikan pelacak yang dilakukan secara manual, sehingga dalam penelitian lebih lanjut penarikan dilakukan secara otomatis (alat).
4. Data dalam penelitian ini diolah dengan menggunakan metode normalisasi sehingga perlu digunakan metode yang lain misalnya metode Gaussian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arko A., Waterfall R.C., and Beck M.S. 1999. *Development of Electrical Capacitance Tomography for Solids Mass Flow Measurement and Control of Pneumatic Conveying Systems*, 1st World Congress on Industrial Process Tomography, April 14-17.
- Bambang S. Dr, 1996, *Fisika Untuk Sains Dan Teknik*, edisi ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Bangliang S., Lihui P., Danya Y., and Baofen Z. 1999. *An Improved Simultaneous Iterative Reconstruction Technique for Electrical Capacitance Tomography*, 1st World Congress on Industrial Process Tomography, April 14-17.
- Crecraft D. A, Gorham D.A, Sparker J.J. 1993. *Electronics Chapman and Hall*. The Open University, London.
- Davis John C, 1986, *Statistics and Data Analysis in Geology*, Second Edition Singapore, New York.
- Dunlap R. A., 1988, *Experimental Physics Modern Methods*, Halifax, New York.
- Jeanmeure L.F.C., Zimmerman W.B.J., Dyakowski T., Jaworski A.J., and Davies G.A. 1999. *An Algorithm Based on Perturbation Theory for Electrical Capacitance Tomography*, 1st World Congress on Industrial Process Tomography, April 14-17.
- Lilian Yuwono. Drg, 1990, *Perlindungan Radiasi*, Jakarta.
- Mismail. B, 1995, *Rangkaian Listrik*, jilid pertama, penerbit ITB, Bandung.
- Pantur Silaban, Ph.D, *Dasar-dasar Elektronika*, Institut Teknologi Bandung (ITB). Bandung.
- Sehan Ersin, 1990, *Dasar-dasar Hidrologi*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Silaban P. dan Sucipto E., *Fisika*, Jilid I Edisi Ketiga, Erlangga, 1978, Jakarta.
- Simon G., 1986, *Diagnosis Rontgen*, Erlangga, Jakarta.
- Suhartono, 1992, *Fisika Dasar II untuk Listri dan Magnet*, Pt. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sutrino, 1986, *Elektronika Teori dan Penerapannya*, ITB Bandung, Bandung.

Sutrisno, 1979, *Fisika Dasar Gelombang dan Optik*, ITB Bandung, Bandung.

Williams R. A, and Beck M.S. 1995. *Process Tomography : Principles, Techniques and Applications*, Butterworth, Heinemann.



Lampiran 1 : Tabel data dengan pelacak besi yang jarak sensor 25 cm (sensor 1)

Data 1 pelacak plastik pada sensor 1	
Tegangan (volt)	Waktu (detik)
0.230	0
0.235	2
0.235	4
0.237	6
0.240	8
0.239	10
0.239	12
0.237	14
0.237	16
0.236	18
0.235	20
0.234	22
0.234	24
0.233	26
0.233	28
0.234	30
0.233	32
0.231	34
0.231	36
0.232	38
0.231	40

Data 3 pelacak plastik sensor 1	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	1.251
2	1.250
4	1.251
6	1.252
8	1.255
10	1.254
12	1.254
14	1.254
16	1.253
18	1.254
20	1.253
22	1.252
24	1.252
26	1.251
28	1.250
30	1.248
32	1.249
34	1.249
36	1.248
38	1.248
40	1.249

Data 2 pelacak plastik pada sensor 1	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	1.149
2	1.149
4	1.151
6	1.154
8	1.157
10	1.156
12	1.155
14	1.155
16	1.156
18	1.155
20	1.153
22	1.152
24	1.152
26	1.152
28	1.150
30	1.151
32	1.150
34	1.148
36	1.149
38	1.148
40	1.148

Data 4 pelacak plastik pada sensor 1	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	2.55
2	2.55
4	2.54
6	2.55
8	2.57
10	2.59
12	2.58
14	2.58
16	2.56
18	2.57
20	2.56
22	2.56
24	2.56
26	2.53
28	2.54
30	2.54
32	2.53
34	2.53
36	2.50
38	2.52
40	2.50

Lanjutan lampiran 1

Data 5 pelacak plastik pada sensor 1	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	0.152
2	0.151
4	0.153
6	0.155
8	0.157
10	0.157
12	0.156
14	0.155
16	0.156
18	0.156
20	0.156
22	0.154
24	0.154
26	0.154
28	0.153
30	0.153
32	0.153
34	0.153
36	0.152
38	0.152
40	0.152

Lampiran 2 : Tabel data pelacak plastik yang jarak sensornya 25 cm (sensor 2)

Data 1 pelacak plastik pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt) •
0	2.125
2	2.125
4	2.125
6	2.126
8	2.126
10	2.127
12	2.127
14	2.127
16	2.129
18	2.128
20	2.128
22	2.129
24	2.129
26	2.132
28	2.133
30	2.131
32	2.131
34	2.131
36	2.130
38	2.130
40	2.131

Data3 pelacak plastik pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	1.156
2	1.155
4	1.155
6	1.156
8	1.156
10	1.156
12	1.157
14	1.157
16	1.158
18	1.159
20	1.159
22	1.159
24	1.161
26	1.163
28	1.165
30	1.165
32	1.163
34	1.162
36	1.163
38	1.163
40	1.162

Data 2 pelacak plastik pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	0.252
2	0.253
4	0.253
6	0.252
8	0.253
10	0.253
12	0.253
14	0.253
16	0.255
18	0.256
20	0.256
22	0.258
24	0.257
26	0.257
28	0.260
30	0.258
32	0.259
34	0.258
36	0.258
38	0.258
40	0.257

Data 4 pelacak plastik pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	0.26
2	0.26
4	0.26
6	0.27
8	0.27
10	0.27
12	0.26
14	0.27
16	0.28
18	0.29
20	0.28
22	0.28
24	0.28
26	0.29
28	0.33
30	0.33
32	0.31
34	0.30
36	0.31
38	0.31
40	0.30

Lanjutan lampiran 2

Data 5 pelacak plastik pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt) •
0	2.886
2	2.886
4	2.886
6	2.885
8	2.887
10	2.887
12	2.887
14	2.888
16	2.888
18	2.887
20	2.888
22	2.889
24	2.889
26	2.891
28	2.893
30	2.892
32	2.891
34	2.890
36	2.890
38	2.888
40	2.888

Lampiran 3 : Tabel data dengan pelacak besi dengan jarak sensor 25 cm (sensor 1)

Data 1 pelacak besi pada sensor 1	
Tegangan (volt)	Waktu (detik)
3.128	0
3.132	2
3.135	4
3.135	6
3.137	8
3.137	10
3.136	12
3.136	14
3.135	16
3.136	18
3.134	20
3.134	22
3.134	24
3.132	26
3.131	28
3.132	30
3.132	32
3.131	34
3.131	36
3.132	38
3.132	40

Data 3 pelacak besi pada sensor 1	
waktu (detik)	jarak (cm)
0	2.125
2	2.123
4	2.125
6	2.127
8	2.129
10	2.127
12	2.128
14	2.126
16	2.126
18	2.125
20	2.126
22	2.125
24	2.125
26	2.123
28	2.123
30	2.123
32	2.123
34	2.124
36	2.123
38	2.123
40	2.123

Data 2 pelacak besi pada sensor 1	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	0.162
2	0.165
4	0.164
6	0.164
8	0.167
10	0.167
12	0.164
14	0.165
16	0.164
18	0.162
20	0.163
22	0.163
24	0.163
26	0.162
28	0.161
30	0.162
32	0.162
34	0.160
36	0.160
38	0.162
40	0.162

Data 4 pelacak besi pada sensor 1	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	0.564
2	0.567
4	0.565
6	0.567
8	0.569
10	0.567
12	0.566
14	0.566
16	0.566
18	0.565
20	0.563
22	0.564
24	0.563
26	0.563
28	0.563
30	0.563
32	0.563
34	0.561
36	0.561
38	0.560
40	0.561

Lanjutan lampiran 3

Data 4 pelacak besi pada sensor 1	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	3.125
2	3.125
4	3.126
6	3.127
8	3.129
10	3.128
12	3.127
14	3.128
16	3.126
18	3.126
20	3.127
22	3.125
24	3.126
26	3.125
28	3.125
30	3.124
32	3.125
34	3.123
36	3.123
38	3.124
40	3.123

Lampiran 4 : Tabel data dengan pelacak besi dengan jarak sensor 25 cm (sensor 2)

Data 1 pelacak besi pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	1.26
2	1.27
4	1.26
6	1.26
8	1.26
10	1.27
12	1.28
14	1.27
16	1.28
18	1.29
20	1.31
22	1.33
24	1.32
26	1.35
28	1.37
30	1.36
32	1.36
34	1.35
36	1.36
38	1.35
40	1.35

Data 3 pelacak besi pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	1.27
2	1.26
4	1.27
6	1.27
8	1.27
10	1.28
12	1.27
14	1.28
16	1.28
18	1.29
20	1.31
22	1.31
24	1.34
26	1.35
28	1.36
30	1.34
32	1.35
34	1.35
36	1.34
38	1.34
40	1.33

Data plastik pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	0.152
2	0.152
4	0.153
6	0.156
8	0.154
10	0.154
12	0.154
14	0.156
16	0.156
18	0.156
20	0.155
22	0.156
24	0.157
26	0.160
28	0.161
30	0.159
32	0.159
34	0.156
36	0.157
38	0.157
40	0.156

Data 4 pelacak besi pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	1.278
2	1.277
4	1.278
6	1.277
8	1.279
10	1.277
12	1.278
14	1.278
16	1.279
18	1.278
20	1.279
22	1.281
24	1.280
26	1.283
28	1.284
30	1.280
32	1.281
34	1.281
36	1.280
38	1.279
40	1.279

Lanjutan lampiran 4

Data 5pelacak besi pada sensor 2	
Waktu (detik)	Tegangan (volt)
0	4.150
2	4.152
4	4.151
6	4.152
8	4.152
10	4.153
12	4.152
14	4.153
16	4.154
18	4.154
20	4.156
22	4.155
24	4.156
26	4.157
28	4.160
30	4.158
32	4.158
34	4.158
36	4.157
38	4.158
40	4.157

Lampiran 5 : Data kalibrasi alat

DATA 1 BESI PADA SENSOR 1

NO	JARAK (cm)	DATA I (volt)
1	0.9	1.310
2	1.8	1.311
3	2.7	1.312
4	3.6	1.311
5	4.5	1.312
6	5.4	1.314
7	6.3	1.315
8	7.2	1.314
9	8.1	1.315
10	9	1.317
11	9.9	1.317
12	10.8	1.319
13	11.7	1.319
14	12.6	1.322
15	13.5	1.321
16	14.4	1.321
17	15.3	1.320
18	16.2	1.320
19	17.1	1.319
20	18	1.319
21	18.9	1.318
22	19.8	1.318
23	20.7	1.318
24	21.6	1.317
25	22.5	1.315
26	23.4	1.316
27	24.3	1.315
28	25.2	1.314
29	26.1	1.314
30	27	1.313
31	27.9	1.313
32	28.8	1.313
33	29.7	1.312
34	30.6	1.313
35	31.5	1.313
36	32.4	1.312
37	33.3	1.312
38	34.2	1.311
39	35.1	1.311
40	36	1.311
41	36.9	1.311
42	37.8	1.308
43	38.7	1.308
44	39.6	1.308
45	40.5	1.310

46	41.4	1.310
47	42.3	1.310
48	43.2	1.310
49	44.1	1.310
50	45	1.308
51	45.9	1.308
52	46.8	1.308
53	47.7	1.306
54	48.6	1.308
55	49.5	1.306
56	50.4	1.306
57	51.3	1.306
58	52.2	1.305
59	53.1	1.306
60	54	1.306

DATA BESI PADA SENSOR 2

NO	JARAK (Cm)	DATA II (VOLT)
1	0.9	1.115
2	1.8	1.115
3	2.7	1.115
4	3.6	1.115
5	4.5	1.117
6	5.4	1.116
7	6.3	1.116
8	7.2	1.117
9	8.1	1.117
10	9	1.117
11	9.9	1.117
12	10.8	1.117
13	11.7	1.116
14	12.6	1.116
15	13.5	1.117
16	14.4	1.117
17	15.3	1.118
18	16.2	1.119
19	17.1	1.119
20	18	1.117
21	18.9	1.119
22	19.8	1.119
23	20.7	1.117
24	21.6	1.117
25	22.5	1.117
26	23.4	1.116
27	24.3	1.115
28	25.2	1.115
29	26.1	1.118

30	27	1.118
31	27.9	1.118
32	28.8	1.120
33	29.7	1.120
34	30.6	1.121
35	31.5	1.120
36	32.4	1.121
37	33.3	1.123
38	34.2	1.123
39	35.1	1.125
40	36	1.125
41	36.9	1.126
42	37.8	1.129
43	38.7	1.127
44	39.6	1.127
45	40.5	1.126
46	41.4	1.125
47	42.3	1.126
48	43.2	1.125
49	44.1	1.124
50	45	1.124
51	45.9	1.124
52	46.8	1.125
53	47.7	1.123
54	48.6	1.123
55	49.5	1.123
56	50.4	1.123
57	51.3	1.120
58	52.2	1.121
59	53.1	1.121
60	54	1.120

15	13.5	2.115
16	14.4	2.113
17	15.3	2.113
18	16.2	2.112
19	17.1	2.112
20	18	2.112
21	18.9	2.111
22	19.8	2.112
23	20.7	2.111
24	21.6	2.109
25	22.5	2.110
26	23.4	2.110
27	24.3	2.110
28	25.2	2.110
29	26.1	2.111
30	27	2.109
31	27.9	2.109
32	28.8	2.109
33	29.7	2.109
34	30.6	2.108
35	31.5	2.106
36	32.4	2.106
37	33.3	2.106
38	34.2	2.106
39	35.1	2.106
40	36	2.106
41	36.9	2.104
42	37.8	2.105
43	38.7	2.104
44	39.6	2.103
45	40.5	2.104
46	41.4	2.104
47	42.3	2.104
48	43.2	2.103
49	44.1	2.103
50	45	2.103
51	45.9	2.103
52	46.8	2.103
53	47.7	2.103
54	48.6	2.101
55	49.5	2.101
56	50.4	2.101
57	51.3	2.101
58	52.2	2.101
59	53.1	2.101
60	54	2.101

DATA PLASTIK PADA SENSOR 1		
NO	JARAK (Cm)	DATA I (VOLT)
1	0.9	2.104
2	1.8	2.105
3	2.7	2.106
4	3.6	2.105
5	4.5	2.107
6	5.4	2.107
7	6.3	2.107
8	7.2	2.108
9	8.1	2.107
10	9	2.108
11	9.9	2.110
12	10.8	2.110
13	11.7	2.111
14	12.6	2.113

DATA PLASTIK PADA SENSOR 2		
NO	DATA II (VOLT)	JARAK (Cm)
1	0.255	0.9
2	0.256	1.8
3	0.256	2.7
4	0.255	3.6
5	0.257	4.5
6	0.256	5.4
7	0.257	6.3
8	0.257	7.2
9	0.257	8.1
10	0.258	9
11	0.257	9.9
12	0.258	10.8
13	0.258	11.7
14	0.258	12.6
15	0.259	13.5
16	0.261	14.4
17	0.260	15.3
18	0.261	16.2
19	0.261	17.1
20	0.263	18
21	0.264	18.9
22	0.260	19.8
23	0.262	20.7
24	0.263	21.6
25	0.264	22.5
26	0.264	23.4
27	0.266	24.3
28	0.267	25.2
29	0.266	26.1
30	0.266	27
31	0.266	27.9
32	0.267	28.8
33	0.269	29.7
34	0.269	30.6
35	0.269	31.5
36	0.268	32.4
37	0.269	33.3
38	0.269	34.2
39	0.271	35.1
40	0.272	36
41	0.271	36.9
42	0.272	37.8
43	0.275	38.7
44	0.273	39.6
45	0.273	40.5
46	0.274	41.4

47	0.273	42.3
48	0.273	43.2
49	0.273	44.1
50	0.272	45
51	0.272	45.9
52	0.273	46.8
53	0.271	47.7
54	0.271	48.6
55	0.272	49.5
56	0.272	50.4
57	0.271	51.3
58	0.271	52.2
59	0.271	53.1
60	0.271	54



Milik UPT Perpustakaan
UNIVERSITAS JEMBER