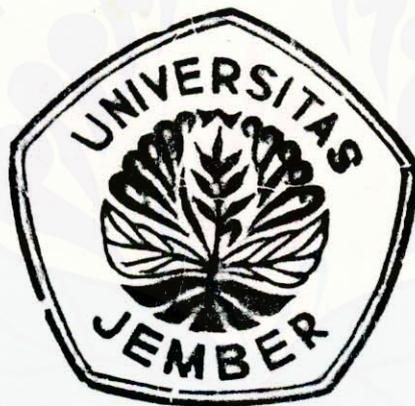




**TOMOGRAFI KAPASITANSI : INVESTIGASI
PENGUKURAN LAJU ALIRAN FLUIDA DENGAN
METODE CROSS CORRELATION**

S K R I P S I

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember



Asal : Hadiah
Pembelian
Terima : Tgl. 6 JUL 2003
No. Induk : fat

S
Klas
616.07
SID
t
e..

Oleh :

Bayu Sidarta

NIM. 981810201079

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

2003

MOTTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan yang berilmu pengetahuan beberapa derajat. (QS : Al – Mujaadillah : 11)

Hampir semua ide dasar ilmu pengetahuan, pada dasarnya sangat sederhana, dan umumnya dapat diungkapkan dengan sebuah bahasa yang bisa dimengerti semua orang. (Albert Einstein)

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penayang. Setelah melewati perjalanan yang panjang dan atas izin-Nya akhirnya dapat kuselesaikan skripsi ini. Sebagai rasa hormat dan terima kasih, kupersembahkan skripsi ini kepada :

- *Ayahanda dan Ibunda tercinta, atas segala do'a dan motivasi yang selalu mengiringi setiap langkah dalam menyelesaikan studiku;*
- *Kakakku dan Adikku, terima kasih atas perhatian dan dukungannya yang banyak memberikan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini;*
- *Almamaterku yang kubanggakan, khususnya Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.*

DEKLARASI

Skripsi ini berisi hasil kerja / penelitian mulai bulan April 2002 sampai dengan Mei 2003 di Laboratorium Fisika Komputasi FMIPA UNEJ. Bersama ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya kecuali jika disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi lain.

Jember, Mei 2003

Bayu Sidarta



ABSTRAK

Tomografi Kapasitansi : Investigasi Pengukuran Laju aliran Fluida dengan Metode *Cross Corelation*, Bayu Sidarta, 981810201079, Skripsi, Mei 2003, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Pada penelitian ini telah dipelajari perilaku suatu sinyal fluida yang bergerak dan mengalami keterlambatan waktu pada dua titik referensi tertentu. Hasil dari selisih waktu tersebut digunakan untuk menentukan laju alirannya. Sinyal dimodulasikan dengan suatu pembawa (carrier) yang berfrekuensi lebih tinggi dari frekuensi fluida tersebut. Kemudian parameter-parameter sinyal (frekuensi, beda fase dan sampel waktu) divariasikan untuk mendapatkan data hasil korelasi kedua sinyal. Dengan menggunakan metode *cross corelation*, data-data (variabel waktu) sinyal akan digeser secara berulang-ulang sampai tepat sama dengan sinyal keduanya. Dan kualitas hasil korelasi sinyal yang tepat dapat dimonitor dari nilai (data waktu) yang memiliki frekuensi sama. Dari penelitian didapatkan bahwa sinyal yang memiliki beda fase kecil (laju aliran kurang lebih sebesar 5 m/s) lebih presisi dalam sampling waktu 150 sampai 500. Untuk data dengan noise ternyata bahwa hasil korelasi sinyal tidak berpengaruh terhadap kepresisian besar kecilnya selisih waktu

Kata kunci : beda fase, frekuensi pemodulasi dan carrier, modulasi sinyal, cross corelation, noise

HALAMAN PENGESAHAN

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

Hari : KAMIS

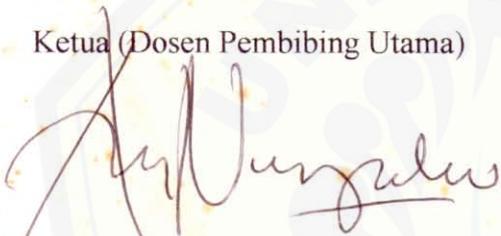
Tanggal : 26 JUN 2003

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua (Dosen Pembimbing Utama)

Sekretaris (Dosen Pembimbing Anggota)



(Agung T. Nugroho, S.Si, M.Phil.)

NIP. 132 085 972

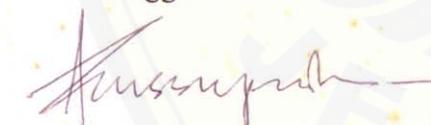


(Sutisna, S.Pd, M.Si.)

NIP. 132 257 929

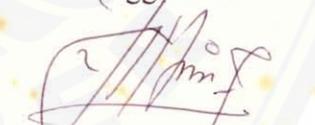
Anggota I

Anggota II



(Agus Suprianto, S.Si, MT.)

NIP. 132 162 507



(Dra. Nanik Y, M.Si.)

NIP. 132 162 508

Mengesahkan

Dekan FMIPA UNEJ



(Ir. Sumadi MS.)

NIP. 130 368 784

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah – Nya kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan penulisan Karya Tulis Ilmiah (Skripsi) ini. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik pada program sarjana sains Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Selama proses penulisan ini, tentunya tidak terlepas dari dukungan serta bantuan beberapa pihak yang sangat berharga kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini ijinilah penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Agung T.N, SSi, MPhil selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Sutisna SPd, MSi selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang penuh kesabaran membimbing penulis dari awal sampai terbentuknya skripsi ini;
2. Bapak dan Ibu terhormat, Kakak dan Adikku yang telah menemani penulis selama penulis menyelesaikan skripsi ini;
3. Mas Budi, Suga dan tim 33.com yang memberi semangat dan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Teman-teman fisika khususnya angkatan '98, cewek '99 dan semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik moril maupun materi dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini mendapatkan yang sepadan dari Allah SWT, Amin.

Jember, Mei 2003

Bayu Sidarta

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN DEKLARASI	iv
HALAMAN ABSTRAK	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Dielektrik dan Kapasitansi.....	6
2.2 Penguat Operasional.....	8
2.3 Modulasi gelombang.....	11
2.4 Metode Cross Corelation.....	13

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	15
3.2 Metode Penelitian.....	15
3.2.1 Obyek yang Diteliti.....	15
3.2.2 Frekuensi Kerja	16
3.2.3 Konfigurasi Transduser	16
3.3 Metode Simulasi Data.....	17
3.4 Metode untuk Menentukan Selisih Waktu.....	18
3.5 Metode Pengujian Sinyal	19

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sinyal yang Disimulasi	20
4.1.1 Koordinat Sinyal Fluida	20
4.1.2 Koordinat Sinyal Modulator	22
4.2 Cara Memodulasi Sinyal.....	22
4.3 Cara Menggeser / Korelasi Sinyal.....	23
4.4 Hasil Korelasi Sinyal.....	24
4.4.1 Memodulasi Sinyal dengan $f_c = 5\text{fm}$	24
4.4.2 Memodulasi Sinyal dengan $f_c = 10\text{fm}$	27
4.4.3 Memodulasi Sinyal dengan $f_c = 20\text{fm}$	30
4.5 Hasil Korelasi Sinyal dengan Noise.....	34

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran.....	38

DAFTAR PUSTAKA	39
-----------------------------	----

LAMPIRAN	41
-----------------------	----

DAFTAR GAMBAR

2.1 Penampang tertutup dengan permukaan konduktor	7
2.2 (a) Differensiator Op-amp praktis	8
(b) Bentuk gelombang masukan dan keluaran	8
3.1 Konfigurasi sensor	16
3.2 Sinyal yang ditangkap masing-masing sensor	17
4.1 Sinyal yang akan disimulasi	20
4.2 Sinyal yang mengalami ketertinggalan waktu	21
4.3 Sinyal carrier dengan $f_c = 10 \text{ fm}$	22
4.4 (a) Modulasi sinyal ($f_c = 5 \text{ fm}$) pada kedua sensor dengan $\Delta t = 0,5 \text{ s}$	24
(b) Modulasi sinyal ($f_c = 5 \text{ fm}$) pada kedua sensor dengan $\Delta t = 0,2 \text{ s}$	24
4.5 (a) Hasil korelasi sinyal dengan beda fase π	25
(b) Hasil korelasi sinyal dengan beda fase $0,4\pi$	25
4.6 (a) Grafik error dengan $f_c = 5 \text{ fm}$ untuk $\Delta t = 0,5 \text{ s}$	26
(b) Grafik error dengan $f_c = 5 \text{ fm}$ untuk $\Delta t = 0,2 \text{ s}$	26
4.7 (a) Modulasi sinyal ($f_c = 10 \text{ fm}$) pada kedua sensor dengan $\Delta t = 0,5 \text{ s}$	27
(b) Modulasi sinyal ($f_c = 10 \text{ fm}$) pada kedua sensor dengan $\Delta t = 0,2 \text{ s}$	27
4.8 (a) Hasil korelasi sinyal dengan beda fase π	28
(b) Hasil korelasi sinyal dengan beda fase $0,4\pi$	28
4.9 (a) Grafik error dengan $f_c = 10 \text{ fm}$ untuk $\Delta t = 0,5 \text{ s}$	29
(b) Grafik error dengan $f_c = 10 \text{ fm}$ untuk $\Delta t = 0,2 \text{ s}$	29
4.10 (a) Modulasi sinyal ($f_c = 20 \text{ fm}$) pada kedua sensor dengan $\Delta t = 0,5 \text{ s}$	30
(b) Modulasi sinyal ($f_c = 20 \text{ fm}$) pada kedua sensor dengan $\Delta t = 0,2 \text{ s}$	30
4.11 (a) Hasil korelasi sinyal dengan beda fase π	31
(b) Hasil korelasi sinyal dengan beda fase $0,4\pi$	31

4.12 (a) Grafik error dengan $f_c = 20\text{fm}$ untuk $\Delta t = 0,5\text{ s}$	32
(b) Grafik error dengan $f_c = 20\text{fm}$ untuk $\Delta t = 0,2\text{ s}$	32
4.13 (a) Grafik error data dengan noise 30 dB ($f_c = 5\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,5\text{ s}$	35
(b) Grafik error data dengan noise 30 dB ($f_c = 5\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,2\text{ s}$	35
4.14 (a) Grafik error data dengan noise 50 dB ($f_c = 5\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,5\text{ s}$	35
(b) Grafik error data dengan noise 50 dB ($f_c = 5\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,2\text{ s}$	35
4.15 (a) Grafik error data dengan noise 30 dB ($f_c = 10\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,5\text{ s}$	36
(b) Grafik error data dengan noise 30 dB ($f_c = 10\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,2\text{ s}$	36
4.16 (a) Grafik error data dengan noise 50 dB ($f_c = 10\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,5\text{ s}$	36
(b) Grafik error data dengan noise 50 dB ($f_c = 10\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,2\text{ s}$	36
4.17 (a) Grafik error data dengan noise 30 dB ($f_c = 20\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,5\text{ s}$	36
(b) Grafik error data dengan noise 30 dB ($f_c = 20\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,2\text{ s}$	36
4.18 (a) Grafik error data dengan noise 50 dB ($f_c = 20\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,5\text{ s}$	37
(b) Grafik error data dengan noise 50 dB ($f_c = 20\text{fm}$) untuk $\Delta t = 0,2\text{ s}$	37

DAFTAR TABEL

4.1 Hasil korelasi sinyal untuk beda fase π dan $0,4\pi$	33
4.2 Hasil korelasi sinyal dengan data noise	34





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengukuran laju aliran fluida sangat penting dalam berbagai macam penerapan, mulai dari pengukuran laju aliran darah di dalam tubuh manusia sampai kepada pengukuran laju aliran oksigen cair di dalam roket. (Holman, 1992). Banyak para ahli di laboratorium yang bergantung pada pengukuran laju aliran fluida untuk mendapatkan data-data penting untuk dianalisa. Pengukuran laju aliran fluida memerlukan ketepatan yang sangat tinggi, hal ini diperlukan untuk mengetahui seberapa dekat nilai hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya.

Pada bidang industri ketelitian pengukuran laju aliran fluida berhubungan langsung dengan laba usaha, seperti pompa bensin atau meter air di rumah-rumah. Hal tersebut sebenarnya hanya memberikan dampak pengukuran laju aliran terhadap laba rugi perusahaan saja, namun belum bisa menghasilkan data yang ada maknanya dalam perencanaan suatu eksperimen. Data hasil pengukuran laju aliran akan lebih akurat bilamana perhitungan terhadap nilai yang diperoleh tepat. Selain itu ketelitian dapat ditingkatkan lagi dengan menggunakan waktu yang lebih lama atau lebih teliti untuk mendapatkan data yang akurat.

Dari berbagai macam aplikasi di atas, teknik pengukuran laju aliran memerlukan suatu sistem pengumpulan dan pengolahan data yang dapat memberikan informasi berupa laju aliran dengan benar dan bisa mendapatkan data yang dikehendaki dari teknik pengukuran tersebut. Oleh karenanya, sistem ini perlu diterapkan pada pengukuran laju aliran dengan menggunakan Tomografi Kapasitansi. Dalam hal ini teknik pengukuran yang digunakan mengukur suatu variabel fisik, tapi memberikan sinyal listrik yang berupa tegangan analog, arus, tahanan atau frekuensi atau perwujudan digital dari besaran tersebut dalam bentuk sederet pulsa (Holman 1992).

Laju aliran fluida dalam pipa bisa diukur dengan menggunakan berbagai cara, diantaranya seperti diskmeter (yang digunakan di rumah tangga) dan rotameter adalah alat-alat yang dibaca secara langsung. Bagian yang menyempit atau menyiku pada sebuah saluran pipa akan menghasilkan beda tekanan yang dapat diekspresikan untuk menentukan laju aliran, dan metode pendekatan yang digunakan yaitu persamaan Bernoulli dan persamaan kontinuitas. Dengan kedua metode tersebut dugaan untuk nisbah laju aliran sesungguhnya terhadap laju aliran hasil perhitungan dari eksperimen-eksperimen dapat diperoleh (Reuben, 1993). Tetapi keberadaan sebuah alat sensor dalam sebuah aliran tidak boleh mempengaruhi aliran yang tengah diukur, sehingga persyaratan ini menyebabkan alat ukur aliran tidak dapat digunakan secara praktis. Berbagai macam metode perhitungan sebagian besar menunjukkan kriteria penampilan dan prinsip operasi dari masing-masing instrumen yang digunakan dalam pengukuran laju aliran. Pada umumnya berbagai metode itu memperlihatkan jangkauan penerapan dan ketelitian yang dapat diharapkan dari masing-masing metode. Pada prinsipnya tiap metode mempunyai karakteristik dinamik yang memberikan deskripsi tentang kualitas pengukuran, namun masih ada kelemahan pada karakteristik statik, diantaranya proses pengukuran besaran fisik dengan instrumen yang menghasilkan sekumpulan hubungan masukan keluaran yang belum menyatakan ketepatan dari nilai sebenarnya. Ini tentunya tidak terlepas dari teknik yang dipakai untuk setiap instrumen. Tomografi kapasitansi merupakan alternatif yang cocok dalam mengatasi berbagai masalah tersebut. Teknik ini digunakan untuk mengukur laju aliran dalam penampang tertutup dengan kapasitor sebagai transduser, yang diletakkan pada sisi luar penampang. Sehingga dengan demikian tidak akan mempengaruhi laju aliran maupun hasil akhir pengukuran. Selain itu metode yang pas untuk ini ditekankan pada ketepatan dalam menganalisa data hasil pengukuran, supaya hasil - hasil yang diperoleh mendekati kebenaran.

Penggunaan teknik kapasitor sebagai transduser mengidentifikasi jarak variabel antara plat dicatat sebagai perubahan kapasitansi. Teknik ini pernah diterapkan pada sistem tomografi untuk mengukur laju aliran dan konsentrasi partikel dalam sebuah pipa (Arko,1999). Kapasitans antara 2 buah atau lebih

elektrode pada metode tersebut memberikan petunjuk langsung mengenai jenis keluarannya. Namun yang menjadi permasalahan adalah perubahan dielektrik dalam aliran diantara kedua kedudukan atau jarak yang ditempuh belum menggambarkan fungsi waktu dari aliran itu sendiri.

Dengan menggunakan sistem tomografi kapasitansi dalam penentuan akhir validitas hasil pengukuran laju aliran sebelumnya diperlukan analisa data, supaya data yang diharapkan tidak jauh menyimpang dari hasil sebenarnya. Tetapi hal ini masih belum memperhitungkan pangaruh berbagai variabel atau hubungan fungsional yang relevan, sehingga data yang akan didapat menjadi lebih sulit. Selanjutnya untuk mengetahui seberapa akurat data itu diperlukan suatu korelasi yang menghubungkan dengan persamaan analitik antara variabel - variabel yang diukur untuk menggambarkan hubungan fungsional data itu. Dan informasi ini akan memberikan hasil pengukuran laju aliran yang presisi.

Banyak cara untuk menganalisa hasil pengukuran laju aliran yang diterapkan pada sistem tomografi. Sebagai hasil akhir proses tomografi menggunakan visualisasi aliran multifase yang dapat memberikan gambaran mengenai profil laju aliran (Dyakowski, 1996). Selain itu data hasil proyeksi (melalui simulasi data pencitraan) juga dapat memberikan informasi tentang debit aliran, dan informasi lainnya (Young, 1999). Tetapi dari berbagai cara yang pernah dilakukan tersebut ternyata mempunyai tingkat perbedaan hasil yang jauh lebih serius kesalahannya. Salah satunya fungsi kawasan waktu sangat menentukan dalam memberi tanggapan terhadap perubahan nilai akhir dari pengukuran. Sepersekian detik sangat berharga untuk memperoleh hasil pengukuran yang presisi.

Ketepatan dalam memberikan hasil akhir pengukuran laju aliran dengan menggunakan sistem tomografi ini merupakan target utama dalam pengolahan laju aliran. Sejauh ini banyak metode-metode koreksi untuk masukan gangguan bisa memprediksi pengaruhnya terhadap hasil keluaran akhir. Metode grafik pengendalian kualitas statistik bisa untuk mendeteksi simpangan yang lebih halus (Ernest, 1992). Dan proses yang berada dalam pengendalian statistik ini tidak mudah dilakukan. Dalam kenyataannya, pengendalian statistik hanya bisa didekati

(diperoleh) dari teori. Suatu masukan yang berupa sinyal periodik, untuk mengukur kualitas dan mengamati keadaan mantap periodik dari suatu fluida atau bahan yang bergerak, diperlukan suatu metode pendekatan lain yang dapat menghasilkan hubungan masukan keluaran yang dikehendaki.

Teknologi tomografi telah sampai pada pengembangan Electrical Capacitance Tomography (ECT) untuk mengukur massa alir partikel. Informasi yang diperoleh melalui kombinasi konsentrasi dan laju aliran pengukuran (Arko, 1999). Namun data yang terukur belum menunjukkan hasil pengukuran yang presisi, sehingga teknik pengukuran juga belum optimal. Oleh karenanya masih diperlukan metode analisa lain sebagai pemecahan yang tepat dan berkualitas.

Berdasar uraian yang banyak membahas ketidaktepatan dalam berbagai metode untuk menganalisa hasil akhir dari suatu proses pengukuran, maka dari sini peneliti ingin menganalisa laju aliran suatu fluida dalam bentuk konsep ketepatan (presisi) dengan metode *Cross Corelation*. Analisis frekuensi langsung keluaran suatu aliran fluida berada dalam daerah frekuensi rendah (gelombang mekanik). Untuk mendapatkan informasi dari sinyal yang berfrekuensi rendah tersebut diperlukan proses modulasi. Kemudian spektrum untuk sinyal dari aliran fluida pada setiap selang waktu dapat diperoleh secara matematis dengan analisa Fourier. Metode *cross correlation* digunakan untuk menentukan selisih waktu yang nantinya dapat menunjukkan hubungan dengan laju aliran.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dan mengingat pentingnya hasil akhir suatu pengukuran, maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana cara menganalisa data pengukuran laju aliran dan menentukan nilai-nilai parameter (frekuensi dan sampling waktu) yang tepat supaya bisa diperoleh hasil pengukuran laju aliran secara presisi.

Kemudian dengan melalui proses modulasi sinyal, bagaimana efektivitas dan efisiensi metode *cross corelation* ketika diberi data dengan dan tanpa *noise* dari sinyal aliran fluida tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Jika meninjau secara umum, maka faktor-faktor yang berpengaruh dalam menentukan laju aliran sangat kompleks dan beragam. Oleh karena itu dalam penelitian ini perlu dibatasi ruang lingkup permasalahan yang akan dipelajari lebih jauh. Hal ini antara lain adalah :

1. Fluida yang akan dijadikan obyek dalam penelitian ini adalah air.
2. Permittivitas dielektrik yang diamati dalam penelitian ini adalah aliran fluida dalam pipa .

1.4 Tujuan

Dalam penelitian ini, tujuan yang diharapkan antara lain :

1. Dapat menentukan laju aliran fluida dalam penampang tertutup secara presisi.
2. Investigasi cara menentukan parameter sinyal periodik (aliran fluida) pada metode *cross correlation*.
3. Mempelajari pengaruh *noise* dalam korelasi sinyal dengan menggunakan nilai frekuensi yang dipilih.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dielektrik dan Kapasitansi

Dielektrikum adalah bahan yang tidak mempunyai elektron bebas. Jika suatu dielektrikum tidak dipengaruhi medan listrik, muatan positif dan muatan negatif tidak terpisah. Dan sebaliknya jika dipengaruhi medan listrik kedua muatan yang berbeda itu akan terpisah satu sama lain. Karakteristik yang dimiliki oleh semua bahan dielektrik (termasuk zat cair) ialah kemampuan untuk menyimpan energi listrik. Penyimpanan ini (jika ada medan luar) terjadi akibat pergeseran antara kedudukan muatan positif dan muatan negatif (William, 1993).

Beberapa jenis molekul polar mempunyai pergeseran yang permanen dan tiap pasang muatan berlaku sebagai dwikutub. Bila pada dua permukaan konduktor yang berhubungan (dipisahkan oleh suatu penyekat) dan diantaranya terdapat bahan dielektrik serba sama, maka elektron akan berpindah dari satu plat ke plat yang lainnya, sehingga pada medium penyekat tadi terdapat muatan yang disebabkan oleh muatan positif pada plat yang kehilangan elektron dan muatan negatif pada plat yang memperoleh elektron.

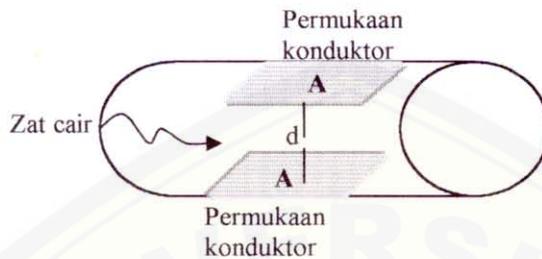
Hubungannya dengan kapasitor, kemampuannya dalam menyimpan muatan listrik (atau disebut kapasitansi) dapat diukur berdasarkan besar muatan yang dapat disimpan pada suatu kenaikan tegangan. Persamaannya dapat dituliskan sebagai :

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2-1)$$

Kita dapat menerapkan definisi kapasitansi pada permukaan kapasitor plat sejajar berjarak d , dengan luas A . Muatan permukaan masing-masing konduktor menimbulkan medan serbasama. Karena muatan total pada masing-masing bidang/plat besarnya tak hingga, maka kapasitansinya tak hingga. Secara praktis ukuran kapasitor bisa diketahui jika kita tinjau bidang/plat dengan luas A yang

dimensi liniernya jauh lebih besar dari jarak d . Dengan perumusan lain kita dapat menyatakan persamaan (2-1) dalam bentuk :

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (2-2)$$



Gambar. 2.1 Penampang tertutup dengan permukaan konduktor

Dengan demikian kapasitansi tak bergantung dari potensial dan muatan total. Karena jika kerapatan muatannya bertambah dengan faktor N , Hukum Gauss menyatakan kerapatan fluks listrik atau intensitas medan listriknya juga bertambah dengan N , demikian juga beda potensialnya. Kapasitansi hanya merupakan fungsi dari dimensi fisis sistem konduktor dan permitivitas bahan dielektrik serbasama tersebut. Fungsi yang lebih tepat untuk mengungkapkan persamaan (2-2) dapat kita tulis sebagai :

$$C = f(\varepsilon, d, A). \quad (2-3)$$

Dari perumusan di atas kita dapatkan bahwa nilai kapasitansi merupakan suatu fungsi dari permitivitas bahan ε , jarak antar plat d , dan luas plat A . Dengan menganggap nilai d dan A selalu tetap, Tapi permitivitas bahan berubah-ubah, maka persamaan (2-3) dapat diubah menjadi :

$$C + \Delta C = f\{(\varepsilon + \Delta\varepsilon), d, A\}. \quad (2-4)$$

Persamaan (2-4) menunjukkan bahwa nilai kapasitas hanya bergantung pada dielektrik bahan. Dan apabila ε berubah setiap saat, maka C juga berubah sebanding dengan perubahan ε . Dan persamaannya ialah sebagai berikut :

$$\varepsilon = \varepsilon(t) \quad (2-5)$$

dan $C = C(t). \quad (2-6)$

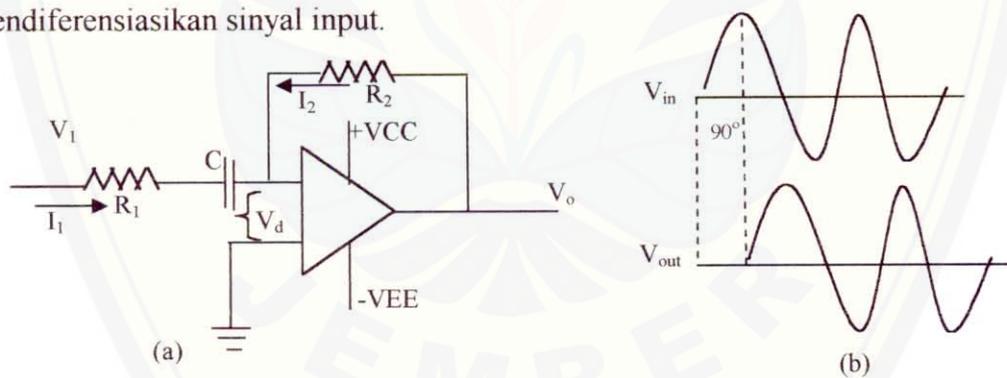
Selanjutnya dari kedua rumusan tersebut dapat dinyatakan bahwa nilai kapasitans adalah fungsi dari permitivitas bahan. Dan secara fisis fungsi ϵ memiliki periodisitas terhadap waktu, demikian juga kapasitansinya. Sehingga dapat kita tuliskan sebagai :

$$C = f(\epsilon) \quad (2-7)$$

maka $C(t) = f\{\epsilon(t)\} . \quad (2-8)$

2.2 Penguat Operasional

Berikutnya akan kita tinjau bahwa nilai kapasitansi yang berubah karena dielektrik suatu bahan sebagai suatu sinyal yang periodik. Sinyal input yang akan menghasilkan tegangan pada suatu rangkaian akan menentukan keluaran (output) yang dikehendaki. Untuk menghasilkan tegangan output yang sebanding dengan kemiringan tegangan input diperlukan suatu operasi diferensiasi matematik. Dalam hal ini diferensiator merupakan salah satu rangkaian yang digunakan untuk mendiferensiasikan sinyal input.



Gambar.2.2 (a) diferensiator op-amp praktis,

(b) bentuk gelombang masukan & keluaran

Seperti pada gambar diatas, bila tegangan input berubah, kapasitor diisi/dikosongkan. Karena adanya ground, arus kapasitor mengalir melalui tahanan umpan balik, menghasilkan tegangan. Tegangan ini setara dengan tegangan masuk (Malvino, 1995). Dengan menggunakan op-amp kita dapat mengubah bentuk gelombang masuk menjadi gelombang keluar yang berbeda

bentuknya. Masukan biasanya berupa sinyal nonsinusoidal yang dibangkitkan menjadi sinyal sinusoidal setelah melalui pendeferensiasi.

Arus yang termuat dalam kapasitor secara umum diberikan oleh persamaan :

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{C} \frac{dQ}{dt} = \frac{I_c}{C} \quad (2-9)$$

Berikut ini akan diuraikan cara memperoleh tegangan output V_o dari suatu sinyal masukan sinusoidal. Polaritas V_o tergantung pada perbedaan tegangan (V_d) antara masukan pembalik dan masukan tak membalikinya (Robert, 1983). Dalam hal ini V_d hanya dipengaruhi oleh V_1 , karena $V_2 = 0$ (ditanahkan).

Dengan menganalisa perubahan tegangan pada rangkaian gambar 2.2(a) (Chattopadhyay, 1989), maka diperoleh arus kapasitornya ialah :

$$I_c = C (dV_1/dt). \quad (2-10)$$

dimana arus kapasitor nilainya bergantung dari perubahan tegangan masukan V_1 terhadap waktu. Sehingga persamaan arusnya :

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} + C \frac{dV_1}{dt} \quad (2-11)$$

dan
$$I_2 = -\frac{V_o}{R_2} \quad (2-12)$$

Karena tidak ada arus yang masuk op-amp maka $I_2 = -I_1$, sehingga :

$$V_o = R_2 \left\{ \frac{V_1}{R_1} + C \left(\frac{dV_1}{dt} \right) \right\}. \quad (2-13)$$

Resistansi R_2 ($10^{-2}R_1$ dan $10^{-1}R_1$) yang dipasang seri dengan kapasitor digunakan untuk mencegah osilasi berfrekuensi tinggi. Karena harga $R_1 \gg R_2$ (Chattopadhyay, 1989), maka persamaan (2-13) dapat ditulis sebagai :

$$V_o = R_2 C \left(\frac{dV_1}{dt} \right) \quad (2-14)$$

atau
$$V_o = R_2 C \frac{\Delta V_1}{\Delta t} \quad (2-15)$$

Karena hasil keluaran sebanding dengan tegangan input (sebagai penguat pembalik), maka dapat dikatakan keluaran deferensiator V_o sebanding dengan gradient tegangan masukan V_1 (Humphiris, 1983).

Jika sebarang gelombang sinus menggerakkan rangkaian diferensiator secara periodik, dengan mengungkapkan tegangan input V_1 sebagai :

$$V_1(t) = V_{p1} \sin(\omega_1 t) \quad (2-16)$$

dimana V_{p1} adalah harga maksimum tegangan pada masukan V_1 dan ω_1 adalah frekuensi tegangan pada masukan V_1 . Dengan demikian, gelombang sinus yang didiferensiasi pada persamaan (2-14) memberikan keluaran diferensiator V_o sebagai gelombang cosinus seperti gambar 2.2(b). Persamaannya diberikan oleh :

$$V_o = R_2 C \frac{dV_{p1} \sin(\omega_1 t)}{dt} \quad (2-17)$$

$$V_o = \omega_1 R_2 C V_{p1} \cos(\omega_1 t) \quad (2-18)$$

Suatu dielektrikum yang nilai permitivitasnya berubah-ubah terhadap waktu akan mengakibatkan kapasitansi dari diferensiator juga berubah, maka fungsi dari kapasitansi itu sendiri (dimisalkan masukan berupa gelombang sinus) menjadi :

$$C = C(t) \quad (2-19)$$

$$C(t) = C_{pc} \sin(\omega_\epsilon t) \quad (2-20)$$

dimana $C_{pc} = \epsilon \frac{A}{d}$ merupakan harga maksimum tegangan pada kapasitor dan ω_ϵ adalah frekuensi dielektrik pada kapasitor.

Akhirnya keluaran diferensiator dapat ditentukan dengan mensubstitusi persamaan (2-19) dan (2-20) kedalam persamaan (2-17), maka :

$$V_o = R_2 C(t) \frac{dV_{p1} \sin(\omega_1 t)}{dt} \quad (2-21)$$

$$V_o = R_2 C_{pc} \sin(\omega_\epsilon t) \omega_1 V_{p1} \cos(\omega_1 t) \quad (2-22)$$

atau
$$V_o = E_2(t) E_1(t), \quad (2-23)$$

dengan $E_2(t) = R_2 C_{pc} \sin(\omega_\epsilon t)$

$$E_1(t) = \omega_1 V_{p1} \sin(\omega_1 t)$$

Persamaan (2-22) mengekspresikan bahwa keluaran diferensiator tidak lain adalah hasil kali 2 buah gelombang yaitu E_1 dan E_2 yang memiliki frekuensi berbeda satu sama lain.

Apabila sinyal frekuensi rendah dari $C(t)$ mengendalikan amplitude dari sinyal frekuensi tinggi V_1 , maka keluaran V_0 berubah-ubah sesuai dengan kecepatan sinyal frekuensi rendah. Dan untuk mengetahui karakteristik sinyal tersebut, diperlukan suatu proses yang mampu mengubah sifat dari suatu sinyal berfrekuensi tinggi dengan sinyal berfrekuensi rendah yang diperoleh.

2.3 Modulasi Gelombang

Modulasi gelombang pada dasarnya merupakan proses perubahan karakteristik tertentu suatu gelombang menurut pola osilasi gelombang yang lain. Karakteristik gelombang kedua dapat ditumpangkan atau dipisahkan (bilamana perlu) terhadap gelombang pertama (Tjia, 1994). Isyarat-isyarat data yang berfrekuensi rendah dapat diperoleh dengan memodulasi beberapa sifat dari suatu gelombang pembawa (pada umumnya berbentuk gelombang sinus) berfrekuensi tinggi.

Modulasi Amplitude

Dalam metode ini, amplitude pembawa berubah menurut sinyal pemodulasi dan perubahan amplitude dari harga tanpa modulasi berbanding lurus dengan harga sesaat sinyal pemodulasi, namun tidak bergantung pada frekuensinya (Chatopadhyay, 1989)

Tegangan pada masukan (gelombang pembawa) V_1 yang diperkuat oleh suatu *gain* A akan menghasilkan keluaran penguat V_0 , sebagai hasil kali *gain* A dan V_1 . Jika *gain* A berubah-ubah bersama-sama waktu, maka V_0 adalah amplitude masukan V_1 yang diubah-ubah atau dikalikan dengan amplitude A yang disebut dengan *isyarat termodulasi amplitude*. Karena itu modulasi amplitude merupakan suatu proses perkalian (Robert, 1983).

Suatu gelombang pembawa sinus frekuensi tinggi V_1 diterapkan ke satu masukan sebuah diferensiator. Sebuah isyarat data dari fungsi kapasitansi $C(t)$ yang diterapkan pada masukan pertama akan menentukan harga V_0 yang bersangkutan. Sebagaimana diungkapkan oleh persamaan (2-22), tegangan keluaran V_0 merupakan hasil modulasi 2 gelombang yang berbeda frekuensinya, yaitu :

$$V_0 = E_2(t) E_1(t), \quad (2-24)$$

dengan $E_2(t) = C(t) = R_2 C_{pc} \sin(\omega_c t)$

$$E_1(t) = \omega_e V_{p1} \cos(\omega_e t).$$

Maka hasil modulasi amplitude dalam kawasan t (Tjia, 1994) dinyatakan sebagai berikut :

$$V_0 = V_{DSB}(t) = E_2(t) V_{p1} \omega_1 \cos(\omega_1 t). \quad (2-25)$$

Persamaan (2-25) disebut persamaan gelombang DSB (*Double Side Band*) karena hasilnya berupa 2 komponen sisi samping yang memiliki frekuensi $\omega_1 \pm \omega_e$. Efek modulasi DSB ini dipakai dalam menentukan sinyal AM dalam bentuk :

$$V_{AM}(t) = V_{p1} \{1 + E_2(t)\omega_1\} \cos(\omega_1 t) \quad (2-26)$$

$$V_{AM}(t) = m_a \cos(\omega_1 t), \quad (2-27)$$

dengan $m_a = V_{p1} \{1 + C(t)\omega_1\}$ sebagai faktor modulasi yang mengungkapkan perubahan selubung amplitude gelombang AM yang terjadi.

Selanjutnya kita akan membandingkan keluaran $V_o(t)$ dari kedua gelombang yang berbeda waktu sekian detik. Dan untuk menunjukkan tingkat hubungan antara variabel-variabel kedua gelombang tersebut, pada bab berikutnya akan dibahas masalah korelasi sinyal.

2.4 Metode Cross Corelation

Anggaphlah bahwa kita mempunyai 2 deret sinyal $C_1(t)$ dan $C_2(t)$ yang keduanya bervariasi terhadap waktu, maka hal tersebut dapat dipandang suatu korelasi apabila variabel-variabel pada masing-masing sinyal berubah secara bersama-sama akibat pergeseran waktu. Untuk menduga pergeseran / perbedaan waktu antara kedua deret sinyal C_{1n} dan C_{2n} , persamaan yang tepat (Spiegel, 1984) diberikan oleh :

$$r = \frac{\sum C_{1n}C_{2n}}{\sqrt{\sum (C_{1n})^2 \sum (C_{2n})^2}} \quad (2-28)$$

Perlu ditegaskan bahwa nilai yang dihitung pada pokoknya mengukur taraf hubungan secara relatif terhadap jenis persamaan yang sebenarnya. Dengan demikian apabila diandaikan persamaan (2-28) menghasilkan nilai r tidak mendekati 1 maka hal ini berarti bahwa hampir tidak ada hubungan silang (*cross corelation*) antara variabel-variabel kedua deret sinyal tersebut. Dan ini tidak berarti bahwa sama sekali tidak ada korelasi namun koefisien koreksi r mengukur kesesuaian ataupun ketertinggalan waktu antara sinyal $C_1(t)$ dan $C_2(t)$ yang diandaikan terhadap data. Atau menurut (Davis, 1986) persamaan lain, dapat ditulis dalam bentuk :

$$r = \frac{N * \sum C_{1n}C_{2n} - \sum C_{1n} \sum C_{2n}}{\sqrt{\{N * \sum C_{1n}^2 - (\sum C_{2n})^2\} \{N * \sum C_{2n}^2 - (\sum C_{2n})^2\}}} \quad (2-29)$$

dimana N adalah jumlah bilangan yang sama (overlapped) diantara kedua deret data sinyal.

Dari tinjauan pustaka yang diuraikan diatas dapat disimpulkan bahwa penentuan laju alir suatu fluida memerlukan metode yang tepat dalam menganalisa data pengukuran. Sebagai awal dari permasalahannya adalah kita tinjau fungsi kapasitansi tersebut sebagai suatu sinyal periodik. Dengan menggunakan *deferensiator op-amp* (Chattopadhyay, 1989) maka akan didapatkan tegangan keluarannya yang mampu mengubah sifat / karakteristik sinyal $C(t)$. Jika ditinjau keduanya sebagai gelombang menurut Tjia (Tjia, 1993) sinyal yang berfrekuensi rendah dapat diperoleh dengan *memodulasi* beberapa sifat dari sinyal

yang berfrekuensi tinggi. Pada penelitian ini digunakan metode *Cross Corelation* untuk mencari pergeseran / perubahan waktu (yang merupakan frekuensi domain) sinyal pada sensor pertama dan sensor kedua yang dipasang pada jarak tertentu, dengan berpijak pada penelitian yang telah dilakukan oleh Arko (Arko, 1999). Sehingga pada akhirnya, dari hasil perbandingan antara jarak sensor dan perubahan / selisih waktu dari sinyal yang diperoleh dapat ditentukan nilai laju aliran fluida.





BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Komputasi Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember, selama kurang lebih 5 (lima bulan yaitu pada bulan Januari tahun 2003 s/d Mei tahun 2003.

3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode simulasi yaitu data yang diolah berbentuk grafik (berupa sinyal), kemudian dari sinyal tersebut akan dianalisis spektrumnya dengan menggunakan bahasa pemrograman komputer sebagai alat bantu dengan beberapa sumber data yang berpijak pada penelitian yang dilakukan oleh Arko (Arko, 1999). Sedangkan obyek yang dijadikan dalam penelitian berupa aliran fluida yang kontinu.

3.2.1 Obyek yang Diteliti

Obyek yang akan diteliti berbentuk aliran fluida (air) dengan kerapatan partikelnya dibuat konstan. Dan aliran fluida sepanjang saluran pipa bersifat laminar, jenis alirannya seragam (*steady*), maksudnya dalam keadaan normal debitnya konstan dan kedalaman dimana-mana konstan sepanjang saluran pipa tersebut. Disamping itu tekanan statik fluida yang bergerak tidak terganggu oleh pengukuran, dikarenakan sensor yang digunakan dalam penelitian ini diletakkan diluar sisi pipa. Sehingga tidak akan menyebabkan terbentuknya pusaran-pusaran kecil (turbulensi) yang membuat hasil pengukuran menyimpang.

Agar lebih bervariasi, maka pada penelitian ini aliran yang diteliti adalah aliran fluida dengan viskositas yang berbeda-beda dan laju aliran yang berbeda pula. Perlu diketahui juga bahwa dalam penelitian ini parameter suhu dan viskositas tidak dilibatkan (diabaikan) pada hasil pengukuran. Namun hanya untuk membandingkan laju aliran air yang berbeda-beda. Viskositas tinggi akan

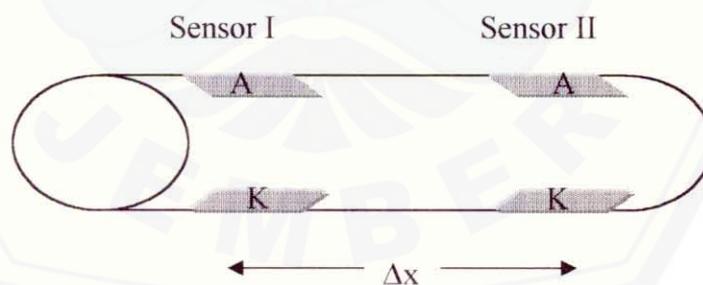
mengakibatkan laju aliran menjadi rendah. Sebagai salah satu pedomannya, debit aliran darah dalam urat nadi adalah $3 \text{ cm}^3/\text{s}$ dengan viskositas $2.084 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ (Lutfi, 1999).

3.2.2 Frekuensi Kerja

Sebagai frekuensi dielektrik dari fluida (f_e) digunakan acuan frekuensi dari gelombang mekanik dalam rentang $0 - 10 \text{ Hz}$. Sedangkan frekuensi modulatornya atau frekuensi kerja digunakan frekuensi yang lebih tinggi (sebagai frekuensi *carier* f_c) dari frekuensi dielektrik (frekuensi pemodulasi f_m) tersebut dengan $f_c = 5 f_m$; $10 f_m$; dan $20 f_m$.

3.2.3 Konfigurasi Transduser

Pada penelitian ini guna menangkap gerakan aliran fluida, diperlukan kapasitor sebagai multi transduser yang menyensor atau mengambil informasi tentang perubahan nilai dielektrik dalam bentuk gelombang atau sinyal periodik. Dalam hal ini digunakan sensor I dan sensor II, dimana masing-masing sensor terdiri dari pelat tipis (Anoda dan Katoda) yang dipasang atau diletakkan diluar sisi pipa seperti tampak pada gambar di bawah ini.



Gambar. 3.1 Konfigurasi sensor

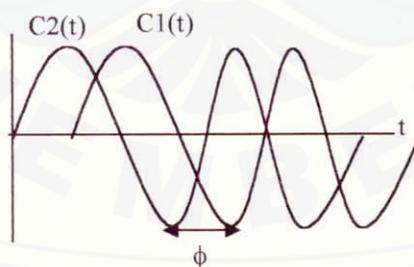
Dengan mengacu pada penelitian para ahli bahwa Arko (Arko, 1999) mensetting 2 elektroda dengan panjang 75 mm pada pipa yang memiliki diameter terkecil 50 mm. Dalam penelitian ini kita gunakan pelat tipis dengan luas penampang 75 mm^2 , namun jarak antar plat (anoda dan katoda) sama dengan

diameter pipa itu sendiri yaitu 50 mm. Sedangkan jarak antara sensor I dan sensor II adalah 1 m. Dimana pada masing-masing sensor digunakan penguat operasional diferensial dan modulator.

3.3 Metode Simulasi Data

Data diambil dari sinyal (dalam bentuk grafik) yang dihasilkan pada masing-masing sensor. Informasi sinyal diperoleh pada saat kapasitor sebagai transduser menyensor pergerakan dari fluida yang melalui tepat diantaranya. kemudian penguat diferensiator akan memodulasi sinyal yang ditangkap dengan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi dielektrik fluida. Untuk mendapatkan sinyal yang sebenarnya secara otomatis demodulator akan memisahkan sinyal yang ditumpangkan pada sinyal yang sebenarnya. Akhirnya kita dapat menentukan frekuensi yang tepat melalui proses modulasi sinyal tersebut

Sedangkan pada sensor yang kedua dalam memperoleh sinyal prinsipnya sama, hanya saja penangkapan sinyal dari obyek (titik suatu partikel dari fluida tersebut) yang bergerak mengalami keterlambatan waktu dari sensor yang pertama. Hal ini dikarenakan partikel yang disensor atau tepat berada pada sensor II setelah melalui sensor I.



Gambar. 3.2 Sinyal yang ditangkap pada masing – masing sensor

Dan untuk menjelaskan data dari grafik yang dihasilkan, perlu diketahui variabel-variabel sebagai berikut :

- Sinyal - sinyal yang ditangkap oleh sensor I dan II berturut-turut dinotasikan dengan $C_1(t)$ dan $C_2(t)$, yang masing – masing diberikan sampling waktu yang bervariasi sebanyak nt . Sehingga akan menghasilkan vektor nt .

- Modulator – modulator yang berfungsi sebagai pembawa sinyal informasi, outputnya dinotasikan oleh $V_{odep}(t)$ dan $V_{obel}(t)$ yang menghasilkan vektor \mathbf{nt} . Kemudian output pada masing – masing sensor yang dikorelasikan akan menghasilkan data berukuran $1 \times g_n$ (banyaknya sampel waktu yang digeser).
- Demikian juga berlaku untuk frekuensi modulator atau *carrier* yang bervariasi dan beda fase (ϕ) antara sinyal – sinyal pada sensor I dan II.

3.4 Metode Untuk Menentukan Selisih Waktu

Beberapa sinyal yang telah didapatkan pada sensor I akan dihubungkan dengan sinyal-sinyal yang ditangkap pada sensor II dalam kawasan frekuensi. Untuk menduga pergeseran / keterlambatan waktu antara kedua sensor dalam hal perolehan sinyal, maka dengan mengambil cuplikan frekuensi domainnya rumus yang dapat menghubungkan keserasian kedua titik cuplikan pada masing-masing sinyal adalah :

$$r = \frac{\sum C_n C'_n}{\sqrt{(\sum C_n)^2 (\sum C'_n)^2}}$$

Jika nilai r mendekati 1 maka titik (yang diambil dari data grafik) pada masing-masing sinyal mempunyai frekuensi yang sama, namun mengalami pergeseran waktu (Δt).

Untuk menguji ketepatan dari hasil pengukuran yang telah diperoleh, salah satu cara adalah dengan mengetahui frekuensi sinyal yang bersesuaian pada sensor I dan sensor II. Untuk mengetahuinya, bisa kita tentukan dengan mengambil nilai konstanta $r \approx 1$ dari pergeseran sinyal yang didapat. Dengan demikian sinyal yang ditangkap (cuplikan frekuensi dari masing-masing sensor) dapat dihubungkan secara tepat.

Akhirnya dari nilai Δt yang diperoleh laju aliran fluida yang bergerak dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$v = \frac{x}{\Delta t}$$

3.5 Metode Pengujian Sinyal

Pengujian kualitas sinyal dapat dilakukan dengan memberikan noise pada sistem pengukuran. Efek dari noise pada sinyal yang diperoleh dapat menunjukkan ketangguhan dari sistem pengukuran tersebut. Dan kualitas sinyal dapat kita uji dengan menggunakan persamaan (Joachimovicz, 1991) :

$$\text{SNR} = 20 \log (S/N)$$

dengan S = sinyal yang diperoleh

N= besarnya noise yang diberikan

Efek yang ditimbulkan oleh noise akan di tampilkan dalam bentuk sinyal atau grafik .

Kemudian selain dengan memberikan *noise*, ketepatan hasil pengukuran akan bisa diterima apabila diperoleh kesalahan < 10%. Dan telah didapatkan bahwa ukuran relatif suatu kesalahan dinyatakan sebagai :

$$\text{err} = \frac{C_n(t) - C'n(t)}{C_n(t)} \times 100\%$$

dengan $C_n(t)$ = data terukur

$C'n(t)$ = hasil korelasi dari data

Sinyal-sinyal akan diuji oleh suatu variasi (perubahan) beda fase dan frekuensi pembawa terhadap pemodulasinya dengan sampling waktu yang ditentukan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang investigasi pengukuran laju aliran fluida, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Jumlah sampel / waktu dalam interval 150 sampai 500 dengan frekuensi pembawanya sepuluh kali frekuensi pemodulasi, dapat digunakan untuk menentukan laju aliran fluida sebesar 5 m/s.
2. Beda fase yang kecil dari kedua sinyal memberikan ketepatan yang lebih tinggi dalam penentuan selisih waktu (Δt) dibandingkan sinyal yang memiliki beda fase besar.
3. Besar kecilnya nilai noise yang diberikan pada hasil pengukuran tidak berpengaruh terhadap selisih waktu yang dihasilkan maupun nilai laju aliran fluida tersebut.

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti kemukakan :

1. Perlu penelitian lebih lanjut tentang metode penentuan frekuensi domain dengan menggunakan *Fast Fourier Transform*.
2. Perlu penelitian lebih lanjut tentang algoritma demodulasi sinyal guna memperbaiki hasil korelasi yang lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

Arko A,k Waterfall R.L, Beck M.S, "*Development of Electrical Capacitance Tomography for Solids Mass Flow Measurment and Control of Pneumatic Conveying Systems*", IEEE (Manchester: UMIST) April 14 – 17.

CattopadhyayD, Rakshit P.C, Saha B, Purkait N.N, 1989, "*Dasar Elektronika*", UI-Press, Jakarta.

Dyakowski, 1996, "*Process Tomography Applied to Multi Phase Flow Measurment*", ICE, University of Manchester Institute of Science and Technology, Manchester.

Ernest D.D, 1992, "*Sistem pengukuran, Aplikasi dan Perancangan*", Jilid 1, Edisi ke-3, Erlangga, Jakarta.

Holman J.P, 1984, "*Metode Pengukuran Teknik*", Edisi ke-4, Erlangga, Jakarta.

Joachimovicz N, 1998, "*Inverse Scattering: An Iterative Numerical Method for Electromegnetic Imaging*", IEEE Trans Antenas Propagat, Vol. 39, No. 12, Dec. 1995.

Malvino, 1995, "*Prinsip-Prinsip Elektronika*", Jilid I, Edisi ke-2, Erlangga, Jakarta

Proakis J.G, 1995, "*Pemrosesan Sinyal Digital*", Jilid I, PT. Prenhallindo, Jakarta

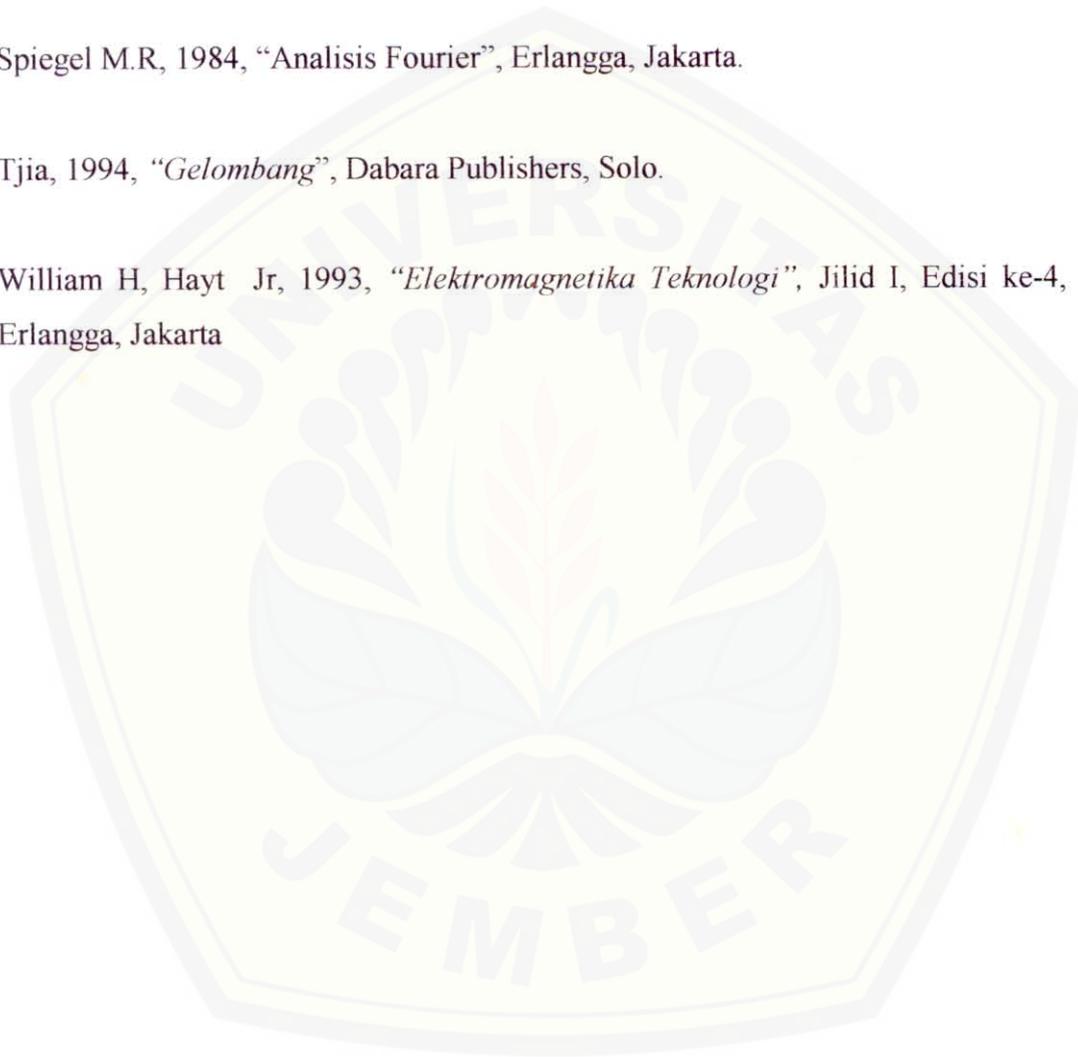
Reuben, Olson M, Steven J.W, 1993, "*Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*", Edisi ke-5, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Robert, 1983, "*Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*", Edisi ke-2, Erlangga, Jakarta.

Spiegel M.R, 1984, "*Analisis Fourier*", Erlangga, Jakarta.

Tjia, 1994, "*Gelombang*", Dabara Publishers, Solo.

William H, Hayt Jr, 1993, "*Elektromagnetika Teknologi*", Jilid I, Edisi ke-4, Erlangga, Jakarta



Lampiran 1. Listing Program Korelasi Sinyal

```
t=linspace(0,1,200);
diel=80; diam=50e-3;
lp=75e-6; rat=lp/diam;
akap=diel*rat;
Y=(80.85e-12*akap)
x=1; v=2;
fm=1;
fase=(x/v);
y2=Y*sin(2*pi*(fm*(t-fase)));
hold on
y1=Y*sin(2*pi*(fm*(t)));

plot(t,y1,'--',t,y2,'m-');
gtext('sinyal I');
gtext('sinyal II');
hold off

figure
Vp=1000;
fc=10;
teg=Vp*sin(2*pi*(fm*t));
plot(t,teg);

figure
Vindep=gradient(teg);
Vodep=y1.*Vindep; Vobel=y2.*Vindep;
plot(t,Vodep);
hold on
plot(t,Vobel,'m-',t,Vodep,'--');
```

```
title('perbandingan output pada kedua sensor')  
hold off
```

```
atas=sum(Vdep.*Vbel);  
bawah=sqrt(sum(Vdep.^2)*sum(Vbel.^2));  
r=atas/bawah;
```

```
rh=[];  
for awal=1:175  
    n=25;  
    r=korelasi(Vdep(1:n),Vbel(awal:(awal+n-1)))  
    rh=[rh r];  
end;
```

```
[y,g]=max(rh)  
plot(t(1:175),rh);  
ylabel('koef korelasi'); xlabel('waktu');  
set(gb,'xtick',t(g));  
set(gb,'xgrid','on');  
tkorel=num2str(y);  
text(t(g)+2,y,['korelasi =',tkorel])
```

Listing program noise

```
figure
noise=randn(size(Vodep));
k=norm(Vodep)/(norm(noise)*exp(50));
Vdep=Vodep+k*noise;
noise=randn(size(Vobel));
k=norm(Vobel)/(norm(noise)*exp(50));
Vbel=Vobel+k*noise;
plot(t,Vodep);
hold on
plot(t,Vobel,'m-',t,Vodep,':');
title('output setelah diberi noise')
hold off
```

