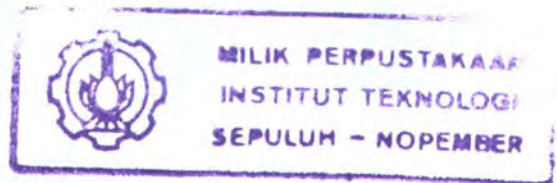


20.625/H/04



## TUGAS AKHIR (KP 1701)

### PENYUSUNAN PROGRAM SIMULASI ALAT UKUR TAHANAN GELOMBANG



RSPe  
532.5  
Yus  
P  
2004

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11-8-2004
Terima Dari	H/
No. Agenda Prp.	220882

Oleh:

MUHAMMAD YUSUF  
NRP. 4196 100 035

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2003

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENYUSUNAN PROGRAM SIMULASI**  
**ALAT UKUR TAHANAN GELOMBANG**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Studi Strata Satu  
Dan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Perkapalan**

**Surabaya, Juli 2003**  
**Mengetahui dan Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing I**



**Ir. I K. A. P. Utama, M.Sc., Ph.D.**  
**NIP. 132 007 645**



**Dosen Pembimbing II**



**Ir. P. Adrianto, M.A.Sc.**  
**NIP. 130 325 763**

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**

**ABSTRAK**

Sarjana Teknik (S1)

**Penyusunan Program Simulasi Alat Ukur Tahanan Gelombang**

Oleh : Muhammad Yusuf  
Dosen Pembimbing I : Ir. I K. A. Utama, MSc., PhD.  
Dosen Pembimbing II : Ir. Petrus Adrianto D., MSc.

Tahanan pada kapal terdiri atas tahanan kekentalan (*viscous resistance*) dan tahanan gelombang (*wave resistance*). Tahanan kekentalan didefinisikan sebagai hasil kali suatu faktor bentuk dengan tahanan gesek dari suatu pelat datar yang memiliki permukaan basah sama dengan bentuk badan kapal, sedang komponen tahanan gelombang selama ini didapatkan dengan cara mengurangi tahanan total kapal dengan komponen tahanan kekentalan atau pendekatan empiris lain.

Penelitian mengenai besarnya komponen tahanan gelombang ini sampai saat ini masih terus dilakukan. Pada umumnya penelitian pada komponen tahanan ini dilakukan pada kolam uji model (*towing tank*), tetapi kendala yang ada yaitu tidak adanya alat ukur yang bisa memberikan estimasi yang lebih baik untuk tahanan gelombang pada model kapal.

Pada sebuah penelitian yang dilakukan tim peneliti dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya telah berhasil didefinisikan sebuah model alat pengukur tahanan gelombang pada model kapal yang akan diuji coba pada kolam uji model. Model alat ini terdiri dari tiga bagian yaitu sensor kapasitif, rangkaian jembatan Wheatstone, dan A. C Ampfier. Pada tugas akhir ini akan dibahas pembuatan program simulasi untuk model alat pengukur tahanan gelombang yang telah dibuat tersebut dengan bahasa pemrograman Delphi 7.



**NAVAL ENGINEERING & SHIPBUILDING DEPARTMENT  
FACULTY OF MARINE ENGINEERING  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA**

**ABSTRACT**

*Degree in Engineering (S1)*

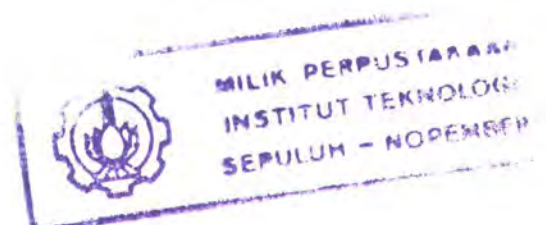
***Simulation Program Arrangement for Wave Resistance  
Measurement Device***

By : Muhammad Yusuf  
1<sup>st</sup> Supervisor : Ir. K. A. Utama, MSc., PhD.  
2<sup>nd</sup> Supervisor : Ir. Petrus Adrianto D., MASc.

*Ship's resistance consist of viscous resistance and wave resistance. Viscous resistance defined as multiplication of a form factor with frictional resistance from a plane plate with wetted surface area similar then ship's body, while for wave resistance component until now calculated from subtraction of ship total resistance with viscous resistance component or other empirical approach.*

*The research about the amount of this wave resistance component is still carried on until present time. Commonly, the research is performed at the towing tank, but the problem is there is no measurement device that can provide a better estimation for wave resistance on ship model.*

*On the recent research that performed by Sepuluh Nopember Institut of Technology research team, it is succesfully defined a wave resistance measurement device model for ship model that will be tested on the towing tank. This device model consist of capacitive sensor, Wheatstone bridges circuit, and A. C. Amplifier. On this thesis will be discussed an arrangement for simulation program for the device model using Delphi 7 language programming.*



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia dan hidayah-Nya, karena hanya dengan restu-Nya maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Penyusunan Program Simulasi Alat Ukur Tahanan Gelombang” ini.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan Pendidikan Strata-I pada Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih banyak kekurangan karena adanya keterbatasan kemampuan, sumber informasi, waktu dan lain-lain. Namun penulis berharap dapat memberikan kontribusi dan manfaat pada dunia desain perkapalan Indonesia, seberapapun kecilnya sumbangan yang dimaksudkan. Besar harapan agar penulis diberi umpan balik berupa kritik dan saran menuju ke arah perbaikan dan kemajuan, sehingga dapat menambah kesempurnaan dari tugas akhir ini. Karena sesungguhnya puji-pujian sesungguhnya hanya milik Tuhan semata.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis tentunya tidak lepas dari bantuan berbagai pihak baik yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. I K. A. Pria Utama, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ir. Petrus Adrianto, MASc., selaku Dosen Pembimbing II yang turut memberikan petunjuk dalam penyusunan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
4. Ir. P. Eko Panunggal, Ph.D., selaku Dosen Wali yang telah banyak membimbing dan memberi petunjuk selama penulis menjalani perkuliahan.

5. Pak Toni dan Pak Condro atas informasi dan petunjuk yang telah diberikan kepada penulis sehubungan dengan Tugas Akhir ini.
6. Ibu, Bapak serta saudara-saudaraku; mBak Dewi, mBak Nelly, dan Robin di rumah yang telah memberikan dukungan secara *all-out*. Juga dukungan dari seluruh keluarga besar Haji Anwar dan Wayan Kaler. *I'm proud of being one of the family.*
7. Binti, Ari, Lusi, Oka, Fauzan, Darlian, Bagas, Yusni, Widhi, dan semua rekan-rekan angkatan '96 atas semua bantuan baik selama penyelesaian Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman di Wisma Permai; Edi, Agus Sugita, Agus Wiswa, Ari, Kojek, Dedy, Deny, Arsabawa, Moza dan Sancaya. *May our friendship last forever.*

Akhir kata semoga Allah Yang Maha Kuasa memberikan limpahan rahmat dan manfaat dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini serta dapat dicatat sebagai amal saleh di kemudian hari.

Surabaya, Juli 2003

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>Abstrak</b>	i
<b>Abstract</b>	ii
<b>Kata Pengantar</b>	iii
<b>Daftar Isi</b>	v
<b>Daftar Gambar</b>	vii
<b>Daftar Tabel</b>	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang	1.1
I.2 Tujuan dan Manfaat	1.3
I.3 Batasan Masalah	1.4
I.4 Metodologi	1.4
I.5 Sistematika Penulisan	1.5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II.1 Teori Tahanan Kapal	2.1
II.2 Tahanan Gelombang	2.7
II.3 Pemrograman Delphi	2.16
<b>BAB III PEMODELAN DAN SIMULASI ALAT UKUR TAHANAN GELOMBANG</b>	
III.1 Sistem Pengukuran Secara Umum	3.1
III.2 Elemen Penyusun Alat Ukur	3.1
III.3 Pemodelan Alat Ukur Tahanan Gelombang	3.4

III.4	Pemrograman	3.8
<b>BAB IV INTERPRETASI HASIL PEMROGRAMAN</b>		
IV.1	Pengujian Program	4.1
IV.2	Analisa Hasil Running Program	4.4
<b>BAB V PENUTUP</b>		
V.1	Kesimpulan	5.1
V.2	Saran	5.2
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		
Lampiran I	Listing Program	



## DAFTAR GAMBAR

	halaman
1. Gambar 2.1 Kurva koefisien tahanan.....	2-4
2. Gambar 2.2 Diagram tahanan total kapal.....	2-5
3. Gambar 2.3 Gerakan gelombang trokoid.....	2-9
4. Gambar 2.4 Geometri trokoid.....	2-10
5. Gambar 2.5 Definisi panjang dan tinggi gelombang sederhana.....	2-11
6. Gambar 3.1 Struktur umum dari sistem pengukuran.....	3-1
7. Gambar 3.2 Capacitive level sensor.....	3-5
8. Gambar 3.3 Deflection bridges.....	3-6
9. Gambar 3.4 A. C. Amplifier.....	3-7
10. Gambar 3.5 Tampilan bagian sensor.....	3-10
11. Gambar 3.6 Tampilan bagian jembatan wheatstone.....	3-13
12. Gambar 3.7 Tampilan bagian A. C. Amplifier.....	3-14
13. Gambar 3.8 Tampilan bagian result table.....	3-15
14. Gambar 3.9 Tampilan bagian result chart.....	3-16
15. Gambar 4.1 h – E characteristic chart.....	4-3
16. Gambar 4.2 Vout - h characteristic chart.....	4-3
17. Gambar 4.3 h – R <sub>w</sub> characteristic chart.....	4-3

## DAFTAR TABEL

	halaman
1. Tabel 4.1 Data input untuk contoh program simulasi.....	4-1
2. Tabel 4.2 Hubungan tinggi cairan dengan hasil output lainnya.....	4-2

BAB I  
PENDAHULUAN



MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Sebuah kapal agar bisa bergerak secara efisien di permukaan air maka harus dipertimbangkan secara teliti besarnya tenaga penggerak yang akan diberikan pada kapal tersebut. Besarnya tenaga penggerak ini tentunya berkaitan erat dengan besarnya tahanan yang bekerja pada kapal. Estimasi perhitungan tahanan yang terlalu besar akan berpengaruh pada pemberian tenaga yang melebihi kebutuhan sehingga penggunaan tenaga tersebut tidak akan optimal. Pada akhirnya ini akan mempengaruhi besarnya biaya operasional kapal. Seperti yang diketahui, nilai ekonomis kapal ditentukan salah satunya oleh perbandingan antara daya kapal dan kecepatannya, karena itu perhitungan besarnya tahanan yang akan dialami oleh kapal merupakan sebuah tahanan yang penting dalam proses desain kapal tersebut. Tugas desainer kapal adalah untuk mendapatkan suatu alternatif desain kapal dengan kecepatan yang optimal dengan daya kapal yang seminimal mungkin. Ini dimungkinkan dengan cara sedapat mungkin meminimalkan tahanan total yang bekerja pada kapal. Pada kapal, tahanan total yang bekerja, seperti yang dikemukakan oleh Froude (1870), terdiri dari dua komponen utama yaitu:

1. Tahanan gesek yang didasarkan pada tahanan ekuivalen pelat datar
2. Tahanan sisa yang diasumsikan didominasi oleh tahanan gelombang.

Dari hipotesis Froude ini besarnya tahanan gelombang didapatkan dengan mengurangi besarnya tahanan total yang bekerja dengan komponen tahanan gesek. Tersedianya alat pengukur tahanan gelombang diharapkan mampu memberikan estimasi yang lebih baik dari perhitungan besarnya tahanan gelombang yang selama ini didapatkan dari pengurangan tahanan total dengan komponen tahanan kekentalan tersebut, atau dengan pendekatan empiris lainnya, misalnya metode Andersen – Guldhammer (1986) dan metode Holtrop [1984 dan 1988]. Dengan diketahuinya harga komponen tahanan gelombang secara lebih akurat diharapkan akan dapat membantu desainer kapal untuk merancang bentuk alternatif kapal yang akan menghasilkan tahanan total yang lebih kecil. Tetapi tidak semua towing tank yang ada di Indonesia memiliki fasilitas alat pengukur tahanan gelombang ini. Sejumlah kolam uji model yang terdapat di Indonesia (di Surabaya dan di Ambon) hanya mampu mengukur tahanan total kapal dan tahanan gesek atau kekentalan yang diestimasi dengan menggunakan pendekatan praktis yang direkomendasikan oleh ITTC. Kesalahan kemungkinan besar terjadi pada perhitungan harga tahanan gesek yang didasarkan pada kesamaan luas dengan pelat datar (kasus dua dimensi) sedangkan pada kenyataannya badan kapal berbentuk tiga dimensi. Karena itu dipandang sangat penting untuk menghindari terjadinya estimasi tahanan gelombang yang terlalu besar akibat pendekatan tersebut. Sehingga perlu dibuat suatu alat yang bisa mengukur besarnya tahanan gelombang dengan lebih akurat.

Sebuah model alat yang ditujukan untuk mengukur tahanan gelombang telah diajukan oleh tim peneliti dari ITS. Alat ini bekerja dengan menggunakan

prinsip kapasitif dari sensor suatu rangkaian elektronika dimana perubahan ketinggian dari fluida yang diukur akan menghasilkan perubahan tegangan, dimana perubahan tegangan ini kemudian akan diubah menggunakan suatu konstanta konversi sehingga pada akhirnya akan dapat ditampilkan besarnya tahanan gelombang yang bekerja pada model kapal tersebut. Tetapi konsep model alat ini masih belum benar-benar sempurna, oleh karena itu diperlukan adanya bahasan lebih lanjut terhadap model alat ukur ini.

Sebelum diwujudkannya alat ini secara fisik dipandang perlu untuk melakukan suatu simulasi yang dapat memperlihatkan karakteristik dari model alat tersebut, baik dari input yang diberikan, besarnya besaran-besaran dari komponen masing-masing komponen maupun dari output yang dihasilkan, sehingga dapat dianalisa dan disimpulkan hasilnya.

## **1.2 TUJUAN DAN MANFAAT**

Tujuan dari dibuatnya tugas akhir ini adalah untuk mensimulasikan model alat ukur tahanan gelombang yang telah didefinisikan oleh tim peneliti Laboratorium Hidrodinamika FTK-ITS sehingga dengan demikian dapat diketahui karakteristik dari model alat ukur ini, baik dari output yang dihasilkan maupun dari besaran-besaran komponen penyusun alat tersebut.

Hasil akhir dari tugas akhir ini berupa sebuah software simulasi yang diharapkan dapat mensimulasikan output alat tersebut.



Sedangkan manfaat yang diharapkan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah dapat diwujudkan sebuah alat pengukur tahanan gelombang yang pada akhirnya akan dapat membantu dalam penentuan desain yang lebih baik pada pembuatan kapal-kapal

### **1.3 BATASAN MASALAH**

Pembatasan masalah diperlukan untuk mengantisipasi pelebaran pembahasan mengingat kompleksnya masalah yang dihadapi. Batasan masalah yang dipakai dalam penulisan tugas akhir ini yaitu:

- Angka Froude dari yang fluida yang disimulasikan adalah  $F_n < 0,4$  sehingga besarnya tahanan pemecahan gelombang dapat diabaikan karena realtif kecil.
- Gelombang yang digunakan adalah gelombang sinusoidal
- Software bahasa pemrograman yang dipakai adalah Delphi 7.0

### **1.4 METODOLOGI**

Metode yang dipergunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

#### **1. Identifikasi masalah**

Pada tahapan ini ditentukan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu pembuatan program simulasi model alat ukur tahanan gelombang.

#### **2. Studi literatur**

Pada tahap ini dilakukan studi pustaka dari literatur-literatur yang relevan untuk mendapatkan referensi, rumus-rumus dan asumsi-asumsi

yang digunakan dalam tugas akhir ini, serta dasar-dasar pemrograman berbasis *window* dengan Delphi 7.

3. Penyusunan program

Tahap ini merupakan tahapan utama dalam tugas akhir ini yaitu pembuatan program simulasi model alat ukur tahanan gelombang dengan mempergunakan bahasa pemrograman Delphi 7.

4. Analisa dan interpretasi dari hasil pemrograman

Dari output dari program simulasi yang dihasilkan akan dianalisa dan diinterpretasi sehingga akan didapatkan suatu kesimpulan.

5. Penulisan Tugas Akhir

Penyusunan laporan tertulis dari seluruh kegiatan yang telah dilakukan selama pembuatan tugas akhir.

## 1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan untuk penyusunan laporan Tugas Akhir ini adalah:

### BAB I. PENDAHULUAN

Membahas latar belakang permasalahan, tujuan dan manfaat penulisan, batasan masalah, metologi penelitian yang digunakan serta sistematika yang digunakan penulisan dalam Tugas Akhir ini.

### BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas dasar teori yang digunakan sebagai landasan dalam menganalisa dan membahas pokok permasalahan. Bab ini memuat tentang prinsip

dasar tahanan yang bekerja pada kapal, tahanan gelombang pada kapal, perhitungan tahanan gelombang, rancang bangun alat ukur tahanan gelombang, serta dasar-dasar pemrograman Delphi.

### BAB III. PEMODELAN DAN SIMULASI ALAT UKUR TAHANAN GELOMBANG

Pada bab ini akan dijelaskan tentang pemodelan dari alat ukur tahanan gelombang berdasarkan penelitian dari tim peneliti ITS dan pembuatan program simulasinya pada model alat ukur ini dengan Delphi 7.

### BAB IV. PENGUJIAN PROGRAM

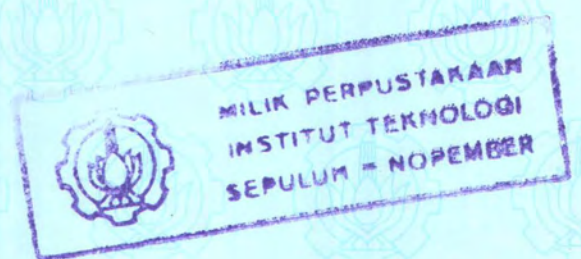
Menjelaskan tentang analisa karakteristik dari hasil output program yang dihasilkan. Dari analisa ini akan dapat diketahui karakteristik tahanan gelombang yang bekerja pada sensor pada tahap simulasi.

### BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Merangkum hasil pembahasan analisa untuk dijadikan kesimpulan dari penelitian beserta saran-saran untuk untuk penelitian selanjutnya.



BAB II  
TINJAUAN PUSTAKA



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 TEORI TAHANAN KAPAL

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal, sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Istilah *resistance* (tahanan) biasanya dipakai untuk gaya tahanan yang ditimbulkan oleh fluida cair, sedangkan *drag* lebih umum dipakai untuk fluida udara dan benda benam. Dilihat dari segi cara pelayarannya, kapal dapat dibedakan menjadi beberapa golongan sebagai berikut:

1. Kapal berlayar pada permukaan air, jadi ada bagian kapal yang tercelup dalam air dan ada bagian kapal yang berada di atas permukaan air. Kapal-kapal yang termasuk dalam golongan ini akan mengalami tahanan-tahanan dari air pada bagian badan kapal yang tercelup air, sedangkan pada bagian yang menonjol di atas permukaan air akan mengalami tahanan dari udara.
2. Kapal yang berlayar di bawah permukaan air, yaitu kapal yang dalam pelayaran dinasnya seluruh bagian kapal berada dibawah permukaan air. Misalnya kapal selam, karena dalam pelayaran dinasnya seluruh bagian kapal melayang di dalam air maka secara otomatis tahanan yang bekerja pada kapal tersebut hanyalah tahanan yang disebabkan oleh air.



3. Kapal yang berlayar di atas permukaan air, yaitu kapal yang pada gerakan awalnya berlayar seperti kapal-kapal biasa, kemudian untuk mencapai kecepatan dinasnya dengan melalui fase kecepatan kapal berlayar di atas permukaan air. Yang termasuk golongan kapal ini misalnya speed boat, hydrofoil, jet foil, hovercraft, dan lain-lain.

Pada kecepatan dinasnya tahanan terbesar yang kemungkinan timbul adalah tahanan udara, sedangkan sebagian kecil tahanan sisanya adalah karena adanya pengaruh air dibawahnya. Pengaruh air ini dapat berupa tahanan yang berada di bawah permukaan airnya sendiri dan juga dikarenakan semburan air.

Pada tahun 1870-an, Willian Froude mulai menyelidiki mengenai tahanan yang bekerja pada kapal melalui percobaan dengan mempergunakan suatu model kapal yang diskalakan secara linier dari kapal sebenarnya. Untuk melengkapi percobaannya tersebut maka Froude juga melakukan percobaan dengan mempergunakan papan-papan tipis dengan panjang berbeda-beda yang ditarik di dalam air. Tujuan percobaan yang dilakukan oleh Froude ini adalah untuk menciptakan suatu metode perkiraan tahanan kapal melalui eksperimen tahanan menggunakan model. Pada percobaan ini tahanan udara dapat diabaikan karena benda uji digerakkan seluruhnya dibawah permukaan air. Dari percobaan ini Froude mengambil kesimpulan bahwa tahanan model kapal dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

- (1) tahanan gesek yang didasarkan pada tahanan ekivalen pelat datar, dan



(2) tahanan sisa yang diasumsikan didominasi oleh tahanan gelombang.

Kedua bagian ini dapat diskalakan secara terpisah dan secara matematis sebagai:

$$R_{TM} = R_{FM} + R_{RM} \quad (2.1)$$

dimana:  $R_{TM}$  = tahanan total model

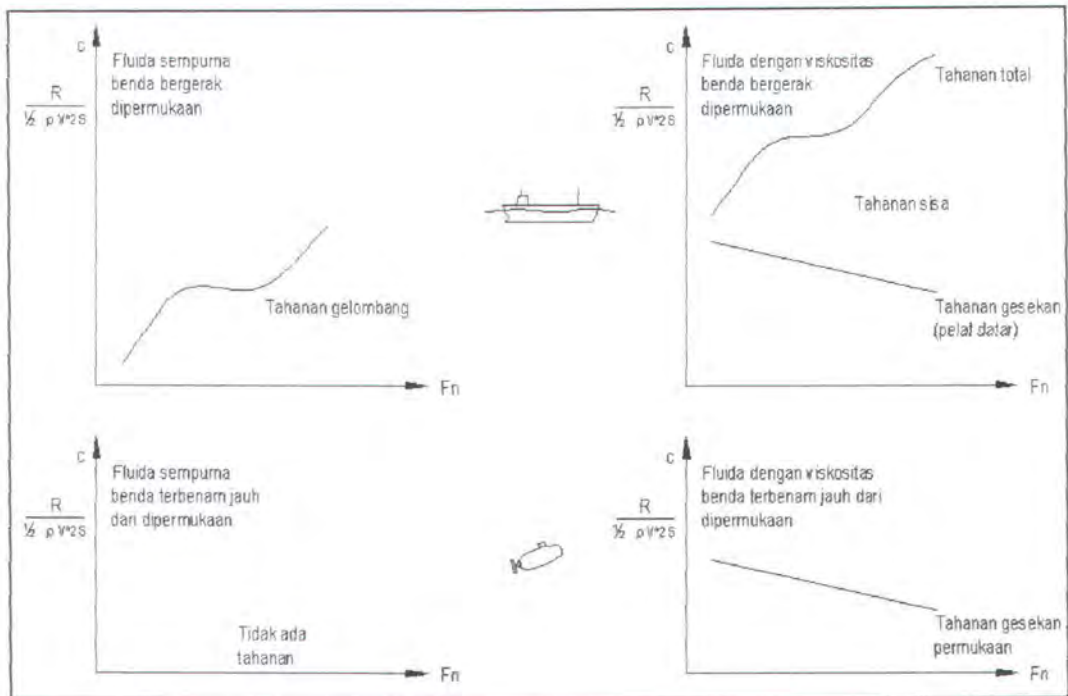
$R_{FM}$  = tahanan gesek untuk pelat datar yang mempunyai permukaan  
basah sama dengan model

$$= \frac{1}{2} \cdot C_{FM} \cdot v^2 \cdot WSA$$

$R_{RM}$  = tahanan sisa dari model

Perkembangan lebih lanjut pada bidang hidrodinamika telah membawa pengertian yang lebih baik pada tahanan kapal dan keterkaitan antara bentuk badan kapal dengan besarnya tahanan, sehingga dapat dilihat kelemahan dari formulasi Froude tersebut, yaitu tidak adanya penjelasan tentang pembagian tahanan ke dalam komponen-komponennya.

Gambar 2.1 berikut menunjukkan beberapa kurva tahanan untuk benda yang bergerak di permukaan atau jauh terbenam di dalam fluida yang sempurna dan memiliki viskositas.



Gambar 2.1 Kurva koefisien tahanan

Koordinat horisontalnya adalah angka Froude,  $F_n$

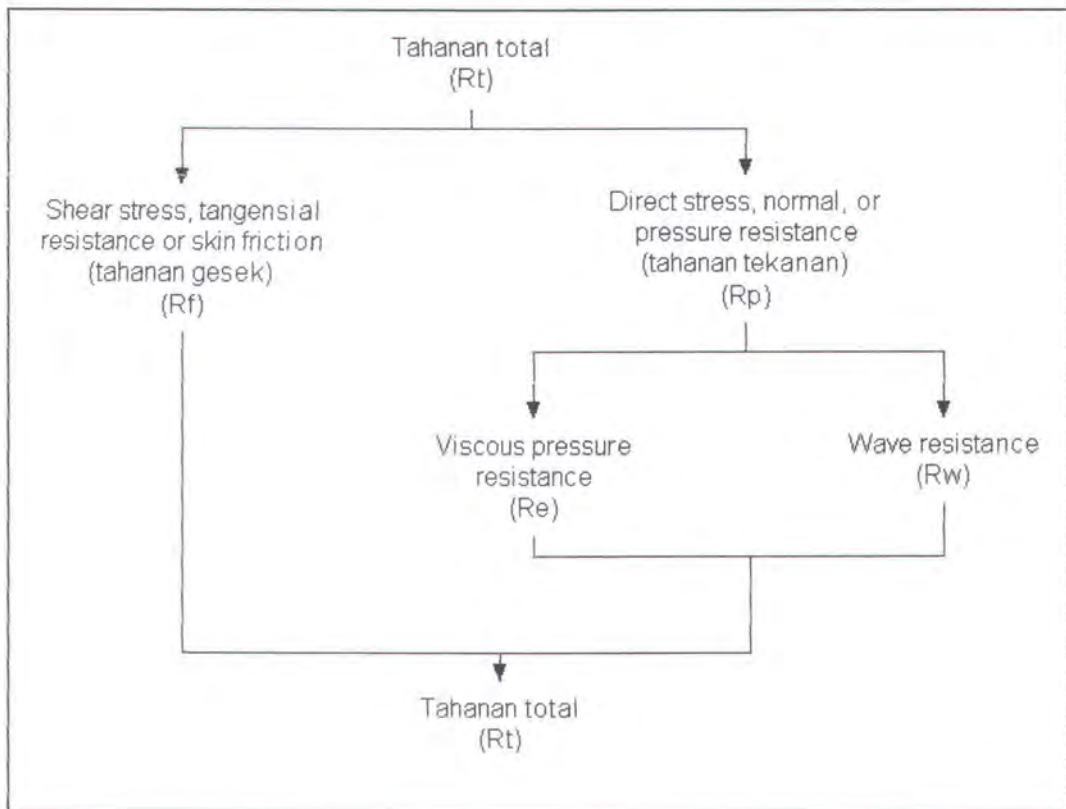
$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (2.2)$$

Sedangkan koordinat vertikalnya adalah koefisien tahanan yang didefinisikan sebagai:

$$C = \frac{R}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \quad (2.3)$$

Tahanan total ( $R_T$ ) dapat diuraikan menjadi beberapa komponen tahanan yang berbeda yang diakibatkan oleh berbagai macam penyebab dan saling berinteraksi dalam suatu fungsi tertentu. Tahanan total dapat dipandang sebagai sesuatu yang dapat dikombinasikan dengan memakai berbagai cara yang berbeda.

Komponen-komponen penyusun koefisien tahanan total kapal  $(R/\frac{1}{2}\rho V^2 S)$  ditunjukkan pada gambar 2.2 bersama dengan beberapa tanda tertentu simbol yang bersesuaian dengan komponen tahanan tersebut.

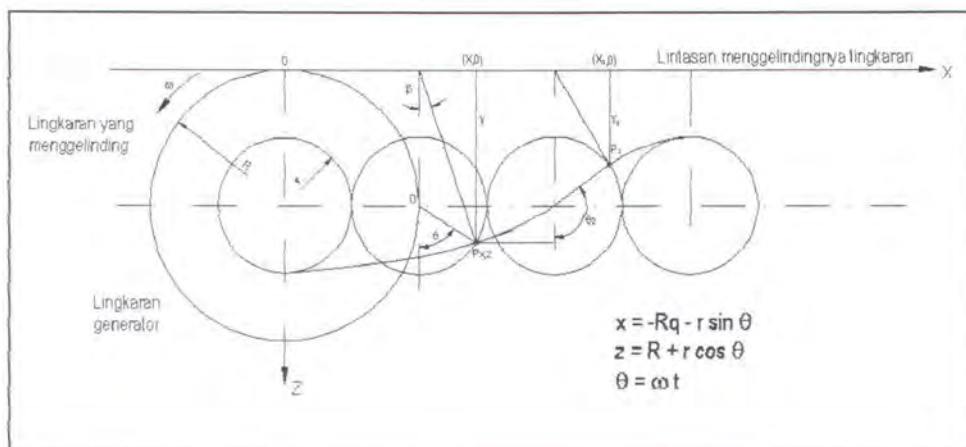


Gambar 2.2. Diagram Tahanan Total Kapal (ITTC, 1966)

Dengan memakai definisi yang dipakai ITTC, komponen tersebut secara singkat diuraikan sebagai berikut:

- Tahanan gesek ( $R_f$ ), adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal.



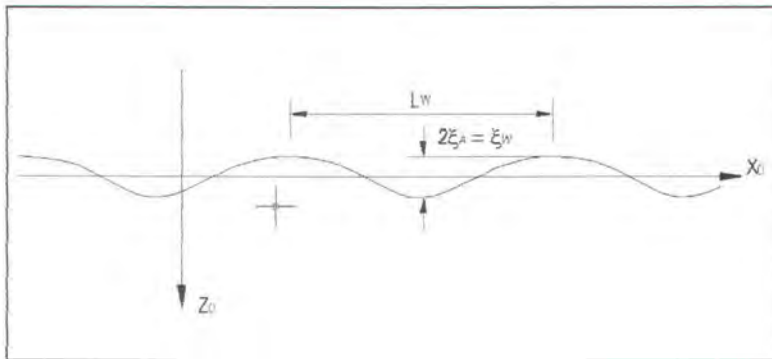


Gambar 2.4 Geometri trokoidal

Kurva yang menghubungkan serangkaian partikel yang semula berada pada bidang horizontal yang sama pada hakekatnya sama seperti kurva yang dibuat oleh titik yang berada pada lingkaran berjari-jari  $r$  dan menggelinding sepanjang garis horizontal dengan jari-jari  $R$ . Gambar 2.4 juga menunjukkan persamaan parametris trokoid.

Dari segi geometri, trokoid merupakan bentuk yang mudah dipakai, tetapi bentuk ini tidak memenuhi persyaratan hidrodinamika tertentu. Bentuk gelombang yang paling sederhana, gelombang sinus atau kosinus, merupakan bentuk yang lebih tepat untuk dipakai; selanjutnya, bentuk gelombang yang lain diasumsikan sebagai hasil superposisi (penjumlahan) dari gelombang sinus.

Agar dapat menjelaskan fenomena gelombang maka perlu diberikan dulu definisi dari beberapa istilah. Untuk satu gelombang sederhana yang bergerak di sepanjang sumbu  $x$  maka dapat diuraikan istilah berikut ini (lihat gambar 2.5)



Gambar 2.5. Definisi panjang dan tinggi gelombang untuk gelombang sederhana

$L_w$  adalah panjang gelombang, yaitu jarak horizontal antara dua puncak gelombang yang berturut-turut dalam arah menurut arah maju gelombang.

$T$  adalah periode gelombang, yaitu waktu mulai saat puncak gelombang yang satu melalui suatu titik tetap hingga saat puncak gelombang berikutnya melewati titik tersebut

$c_w$  adalah kecepatan gelombang (*wave celerity*), yaitu kecepatan fase gelombang gravitasi permukaan di air yang dalam

$\xi_w$  adalah tinggi gelombang, yaitu jarak vertikal dari puncak gelombang ke lembah gelombang, atau dua kali amplitudo gelombang harmonis.

$\xi_A$  adalah amplitudo gelombang, yaitu jari-jari gerakan orbital dari partikel gelombang permukaan, sama dengan setengah tinggi gelombang.

$f$  adalah frekwensi, yaitu kebalikan dari periode gelombang  $= 1/T$ .

$\omega$  adalah fekwensi sudut (melingkar)  $= 2\pi/T$ .

Rasio kecuraman (*steepness ratio*) adalah rasio antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang.

Kemiringan (*slope*) permukaan adalah kemiringan profil permukaan gelombang yang tegak lurus puncak gelombang dalam koordinat ruang. Kemiringan gelombang maksimum untuk gelombang harmonis teratur atau trokoid adalah  $\pi/2$  (rasio kecuraman).

Elevasi permukaan untuk gelombang sinus dapat dinyatakan sebagai:

$$\xi = \xi_A \cos(\kappa x - \omega t) \quad (2.5)$$

$\kappa$  adalah angka gelombang (*wave number*)

$$\kappa = 2\pi/L_W \quad (2.6)$$

$x$  adalah posisi pada sumbu  $x$  dan  $t$  adalah waktu. Persamaan 3.4.2 menyatakan suatu gelombang yang bergerak menurut arah sumbu  $x$  positif

Antara unsur yang disebutkan di atas terdapat hubungan sebagai berikut (lihat gambar 4.3.4):

$$L_W = 2\pi \frac{c_W^2}{g} \sim 0,641 c_W^2 \quad (2.7)$$

$L_W$  dalam meter,  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/det}^2$ ), dan  $c_W$  dalam m/det.

Untuk gelombang trokoid:

$$L_W = 2\pi R \quad (2.8)$$

$R$  adalah jari-jari lingkaran yang menggelinding.

Untuk kecepatan gelombang terdapat hubungan sebagai berikut:

$$c_W = \frac{L_W}{T} = \sqrt{\frac{gL_W}{2\pi}} \sim 1,25\sqrt{L_W} \quad (2.9)$$

untuk periode gelombang:

$$T = \frac{L_W}{c_W} = 2\pi \frac{c_W}{g} = \sqrt{\frac{2\pi L_W}{g}} \quad (2.10)$$



untuk frekwensi:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{g}{c_W} \quad (2.11)$$

$$(f = 1/T)$$

kecepatan partikel (gelombang trokoid):

$$c = r\omega = \frac{rg}{c_W} \quad (2.12)$$

$r$  adalah jari-jari orbit atau jari-jari lingkaran generator. Pada permukaan air tenang, jari-jari orbit adalah  $r_0$ , dan

$$r_0 = \zeta_A \quad \text{atau} \quad 2r_0 = \zeta_W \quad (2.13)$$

Pada kedalaman di bawah permukaan, untuk gelombang trokoid, jari-jari menjadi:

$$r = r_0 e^{-2\pi z/L_W} = r_0 e^{-zg/c_W^2} \quad (2.14)$$

Energi  $E$  dalam gelombang trokoid dapat dinyatakan sebagai:

$$E = 1/8 \rho L_W \zeta_W^2 \left( 1 - \frac{r_0^2}{2R^2} \right) \quad (2.15)$$

karena  $r_0/R$  merupakan kuantitas dengan derajat 0,10 maka  $r_0/R$  dapat diabaikan; kesalahan yang terjadi akibat pengabaian ini tak berarti. Dengan demikian maka:

$$E \sim 1/8 \rho L_W \zeta_W^2 \quad \text{per satuan lebar} \quad (2.16)$$

$\rho$  adalah massa jenis air.

## (2) Perhitungan Teoritis Tahanan Gelombang

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menghasilkan metode teoritis untuk menghitung besarnya tahanan gelombang. Metode tersebut dapat dibagi kedalam dua kelompok yaitu:

- Metode A: Aliran di sekitar badan kapal ditentukan dahulu kemudian distribusi tekanan normalnya. Selanjutnya komponen depan dan belakang tekanan tersebut diintegrasikan ke seluruh permukaan badan kapal. Teori tentang metode ini dikenal dengan nama Thin Ship Theory dan dikembangkan pertama kali oleh Michell (1898), sasaran penelitian Michell tersebut adalah untuk memberikan suatu penyelesaian umum terhadap permasalahan gelombang yang ditimbulkan oleh kapal yang mempunyai bentuk tertentu dan bergerak di cairan tanpa kekentalan, dan untuk menentukan tahanan yang diakibatkan oleh gelombang tersebut terhadap gerakan kapal. Asumsi yang dipakai oleh Michell adalah kemiringan bidang singgung di titik manapun pada permukaan bidang tersebut terhadap bidang median vertikal merupakan kemiringan yang kecil, karena itu teori ini hanyalah cocok untuk kapal-kapal dengan bentuk ramping (*slender body*).
- Metode B: Alternatif dari metode yang pertama dikembangkan oleh Havelock (1951) dimana tahanan gelombang diukur dari besarnya energi sistem gelombang. Pola gelombang yang ditimbulkan oleh kapal pada jarak yang cukup jauh dibelakang buritan dihitung terlebih dahulu kemudian selanjutnya tahanan gelombang dihitung berdasarkan aliran energi yang diperlukan untuk mempertahankan sistem gelombang.

Kedua metode ini mengarah pada persamaan matematis akhir yang sama dan pada tiap-tiap kasus penyelesaiannya adalah untuk fluida tanpa kekentalan (nonviscous) dan tak-termampatkan (incompressible), sehingga kapal hanya akan mengalami tahanan gelombang.

### (3) Energi Gelombang

Perlu ditekankan bahwa pertambahan jumlah gelombang terjadi karena dua hal utama : (a) inersia dari fluida, dan (b) gravitasi, dimana gravitasi ini cenderung untuk mempertahankan permukaan gelombang sebagai sebuah permukaan yang datar. Interaksi dari kedua hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan dari suatu gerakan periodik; sebuah sistem gelombang yang memiliki energi kinetik dan potensial. Energi kinetis berhubungan dengan kenyataan bahwa partikel air mempunyai gerakan melingkar, dan energi potensial sehubungan dengan kenaikan permukaan air. Untuk gelombang sinusoidal, energi potensialnya adalah:

$$E_p = \frac{1}{4} \rho g \zeta_a^2 L_w \quad (2.17)$$

atau:

$$E_p = \frac{1}{4} \rho g \zeta_a^2 \text{ per satuan luas permukaan gelombang} \quad (2.18)$$

Demikian juga dengan energi kinetik dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{4} \rho g \zeta_a^2 \text{ per satuan luas permukaan gelombang} \quad (2.19)$$

Sehingga energi total untuk gelombang sinusoidal merupakan jumlah dari (2.18) dan (2.19), yaitu;

$$E = \frac{1}{2} \rho g \zeta_a^2 L_w \text{ per foot lebar} \quad (2.20)$$

atau dapat juga dikatakan juga total energi per satuan luas permukaan gelombang adalah:

$$E = \frac{1}{2} \rho g \zeta_a^2 \quad (2.21)$$



### 2.3 PEMROGRAMAN DELPHI

Delphi merupakan software bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh Borland yang bekerja pada sistem operasi Windows dan digunakan untuk membangun aplikasi-aplikasi berbasis Windows. Berbagai jenis aplikasi dapat dibuat dengan menggunakan Delphi, antara lain aplikasi untuk pengolahan teks, grafik, angka, database dan termasuk juga aplikasi web. Delphi merupakan program turunan dari bahasa pemrograman sebelumnya yaitu Pascal dan menggunakan struktur bahasa pemrograman Object Pascal sebagai bahasa dasar.

Untuk mempermudah pembuatan program aplikasi, Delphi menyediakan fasilitas pemrograman yang sangat lengkap. Fasilitas pemrograman itu dibagi dalam dua kelompok, yaitu object dan bahasa pemrograman. Secara ringkas object adalah suatu komponen yang mempunyai bentuk fisik dan biasanya dapat dilihat (visual). Object biasanya dipakai untuk melakukan tugas-tugas tertentu dan mempunyai batasan-batasan tertentu. Sedangkan bahasa pemrograman secara singkat dapat disebut sebagai sekumpulan teks yang mempunyai arti tertentu dan disusun dengan aturan tertentu serta untuk menjalankan suatu tugas yang spesifik. Gabungan dari object dan bahasa pemrograman ini sering disebut sebagai bahasa pemrograman berorientasi object atau Object Oriented Programming (OOP). Khusus untuk pemrograman database, Delphi menyediakan object yang sangat kuat, canggih dan lengkap sehingga memudahkan pembuatan aplikasi database yang diinginkan. Selain itu juga Delphi juga dapat menangani data dalam berbagai format database seperti misalnya MS-Access, SyBase, Oracle, FoxPro, Informix,

DB2 dan lain-lain. Format database yang dianggap asli dari Delphi adalah Paradox dan dBase.

Ada 3 (tiga) versi dari *Delphi*, yaitu : *Delphi Desktop*, *Delphi Developer*, dan *Delphi Client-Server* (CS). Versi-versi tersebut memberikan suatu konektivitas ke dunia luar dengan tingkat yang berbeda-beda. *Delphi Desktop* dapat berhubungan dengan *dBase* dan *Paradox* melalui *Borland Database Engine*. Versi *Developer* berisi konektivitas ODBC (untuk berhubungan dengan sebuah sumber data melalui *driver* ODBC). Versi CS mempunyai SQL *link*, di mana kita dapat berhubungan dengan database SQL seperti *SyBase* dan *Oracle* dengan kecepatan tinggi. *Delphi CS* mempunyai *power builder* yang dipakai membangun database jaringan aplikasi berbasis *Windows*.

Secara umum kemampuan Delphi adalah menyediakan komponen-komponen dan bahasa pemrograman yang andal sehingga memungkinkan untuk membuat program aplikasi dengan tampilan yang menarik dan kemampuan yang canggih. *Delphi* memiliki keunggulan, antara lain mampu memberikan tampilan program yang menarik serta kemampuan membuat animasi yang lebih mudah dan menarik dibandingkan aplikasi bahasa pemrograman lainnya.





**BAB III**

**PEMODELAN DAN SIMULASI ALAT  
UKUR TAHANAN GELOMBANG**



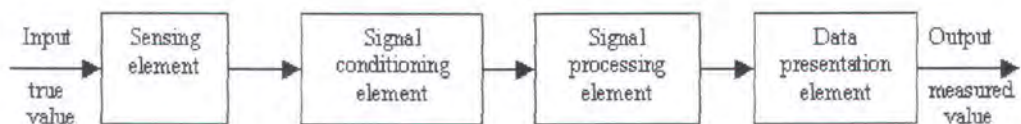
## BAB 3

### PEMODELAN ALAT DAN PEMROGRAMAN

#### 3.1 SISTEM PENGUKURAN SECARA UMUM

Kegunaan dari suatu sistem alat pengukuran adalah untuk memberikan besarnya nilai numerik dari variabel yang diukur kepada pengamat. Biasanya nilai numerik atau nilai yang diukur tidak sama persis dengan nilai sebenarnya dari variabel yang diukur.

Suatu sistem pengukuran terdiri dari beberapa blok atau elemen. Dalam sebuah sistem pada umumnya dapat dikenali empat jenis tipe elemen utama, meskipun dalam sebuah sistem bisa saja sebuah elemen tersebut tidak ada atau malah ada dua buah. Menurut Bentley (1995) suatu sistem pengukuran pada umumnya terdiri atas 4 macam elemen utama yaitu: elemen pengindera / sensor, elemen pengkondisian sinyal, elemen pemrosesan sinyal dan elemen presentasi data, seperti yang terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Struktur umum dari sistem pengukuran

#### 3.2 ELEMEN PENYUSUN ALAT UKUR

Empat elemen tersebut selanjutnya dapat didefinisikan sebagai berikut:

- Elemen pengindera (*sensing element*)

Elemen sensor adalah elemen pertama dalam sistem pengukuran dimana sinyal input akan diterima dan selanjutnya proses atau sistem pengukuran dilakukan. Contohnya antara lain:

- Thermocouple dimana milivolt e.m.f. tergantung dari temperatur;
- Strain gauge dimana tahanan tergantung dari regangan mekanis;
- Orifice plate dimana penurunan tekanan bergantung pada laju aliran.

Jika terdapat lebih dari satu elemen pengindera pada sebuah sistem maka elemen yang berhubungan langsung dengan proses dinamakan elemen pengindera utama dan yang lainnya adalah elemen pengindera sekunder.

- Elemen pengkondisian sinyal (*signal conditioning element*)

Elemen ini mengambil output dari elemen pengindera dan mengubahnya ke dalam suatu bentuk yang lebih sesuai untuk pemrosesan lebih lanjut, biasanya dalam bentuk voltase d.c. (*direct current*; arus searah), arus d.c. atau frekwensisinyal. Contohnya adalah:

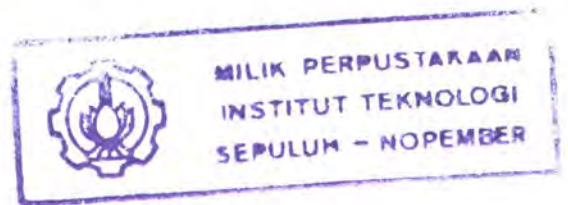
- Deflection bridge yang mengubah perubahan impedansi ke dalam bentuk perubahan voltase;
- Amplifier yang memperkuat milivolt menjadi volt;
- Oscilator yang mengubah perubahan impedansi menjadi variabel frekwensi voltase .

- Elemen pemrosesan sinyal (*signal processing element*)

Elemen ini mengambil output dari elemen pengkondisian sinyal dan mengubahnya menjadi sebuah bentuk yang sesuai untuk ditampilkan.

Contohnya adalah:

- Analog-to-digital converter yang mengubah voltase menjadi sebuah bentuk digital untuk input dari sebuah komputer;
- Sebuah mikrokomputer yang mengkalkulasi besarnya nilai dari variabel data digital yang masuk.
- Element presentasi data (*data presentation element*)  
Elemen ini selanjutnya akan menyajikan nilai yang diukur ke dalam suatu bentuk yang dapat dengan mudah dikenali oleh pengamat. Contohnya:
  - Sebuah indikator pointer-skala sederhana
  - Chart recorder
  - Alphanumeric display
  - Visual display unit



Dari uraian di atas dapat dilihat elemen pertama yaitu elemen pengindera (sensor) merupakan elemen yang berhubungan langsung dengan dari proses atau sistem yang sedang diukur, dan mengambil energi darinya. Input dari elemen ini merupakan nilai sesungguhnya dari variabel yang diukur, sehingga output elemen pengindera sangat tergantung dari nilai ini. Bentley (1995) melaporkan adanya sejumlah sensor yang dapat menjadi pilihan, antara lain:

- Sensor resistif (*Resistive Sensing Elements*)
- Sensor kapasitif (*Capacitive Sensing Elements*)
- Sensor induktif (*Inductive Sensing Elements*)
- Sensor elektromagnetik (*Electromagnetic Sensing Elements*)
- Sensor termoelektris (*Thermoelectric Sensing Elements*)



- Sensor elastis (*Elastic Sensing Elements*)
- Sensor peizoelektris (*Peizelectric Sensing Elements*)
- Sensor peizoresistif (*Peizoresistive Sensing Elements*)
- Sensor elektrokimia (*Electrochemical Sensing Elements*)

Dari kesemua sensor tersebut diatas, sensor pertama dan kedua yang paling banyak dipergunakan karena harga dan proses pembuatannya relatif lebih murah dan mudah bila dibandingkan dengan sensor lainnya. Sensor resistif ini dapat mengukur suhu, flux panas, kecepatan aliran, displasemen, regangan dan komposisi gas. Bentley (1995) lebih jauh melaporkan penggunaan sejumlah elemen pada sensor resistif, antara lain: (1) potensiometer untuk pengukuran displasemen linier, (2) termistor dan termometer tahanan untuk pengukuran suhu dan (3) logam dan semikonduktor untuk pengukuran regangan suatu bahan. Kemampuan sensor resistif misalnya sudah diuji coba dengan baik antara lain pada pengembangan alat pengukur tahanan gelombang (*wave pattern measurement equipment*) di Inggris dengan hasil yang mengagumkan (dibandingkan dengan hasil secara teoritis), dilaporkan oleh Insel (1991).

### **3.3 PEMODELAN ALAT UKUR TAHANAN GELOMBANG**

Penelitian tentang alat ukur gelombang di Indonesia merupakan hal yang masih baru. Utama dkk (2002) telah melakukan penelitian tentang suatu model alat ukur tahanan gelombang ini. Inti dari pemodelan atau simulasi ini terletak pada pemilihan sensor yang tepat (dan rumit), di mana pada satu sisi akan menghasilkan keluaran pengukuran yang sangat akurat, tetapi di sisi lain

umumnya membutuhkan biaya besar. Pada penelitian ini berhasil didefinisikan suatu model matematis alat pengukur tahanan gelombang dengan sensor kapasitif. Pemilihan dari sensor kapasitif ini dikarenakan sensor ini merupakan salah satu sensor yang tidak membutuhkan biaya besar dan mudah dalam pembuatannya. Secara konsep model alat ini terbuat dari rangkaian elektronik yang terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

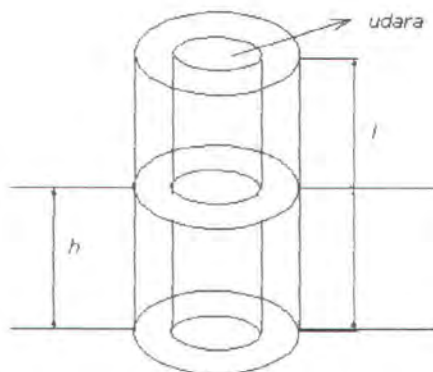
1. Elemen sensor.

Elemen sensor yang dipakai adalah capacitive level sensor. Kapasitansi level sensor adalah total dari kapasitansi likuid dan kapasitansi udara.

$$C_h = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon h}{\log_e\left(\frac{b}{a}\right)} + \frac{2\pi\epsilon_0(l-h)}{\log_e\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (3.1)$$

atau

$$C_h = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log_e\left(\frac{b}{a}\right)} [l + (\epsilon - 1)h] \quad (3.2)$$



Gambar 3.2

Capacitive level sensor

dimana:

$C_h$  = kapasitansi capacitive level sensor pada ketinggian  $h$

$h$  = ketinggian likuid

$a$  = jari-jari silinder luar

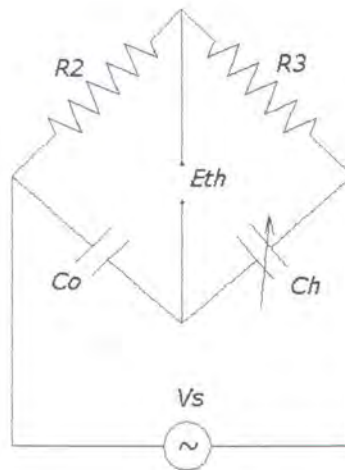
$b$  = jari-jari silinder dalam

2. Elemen Pengkondisian sinyal

Elemen pengkondisian sinyal terdiri dari deflection bridge dan amplifier.

a. Deflection bridge

Sebuah deflection bridge mempunyai voltase a. c. supply; dua lengan biasanya terdiri dari impedansi reaktif dan dua lengan lainnya merupakan impedansi resistif (lihat gambar 3.3).



Gambar 3.3 Deflection bridges

Besarnya tegangan Thevenin:

$$E_{th} = V_s \left\{ \frac{1}{1 + C_o / C_h} - \frac{1}{1 + R_3 / R_2} \right\} \quad (3.3)$$

Untuk mendapatkan nilai  $E_{th} = 0$  pada level minimum  $h_{min}$ , maka kita memerlukan besarnya  $C_o$ :

$$C_o = C_{hmin} \left( \frac{R_3}{R_2} \right) \quad (3.4)$$

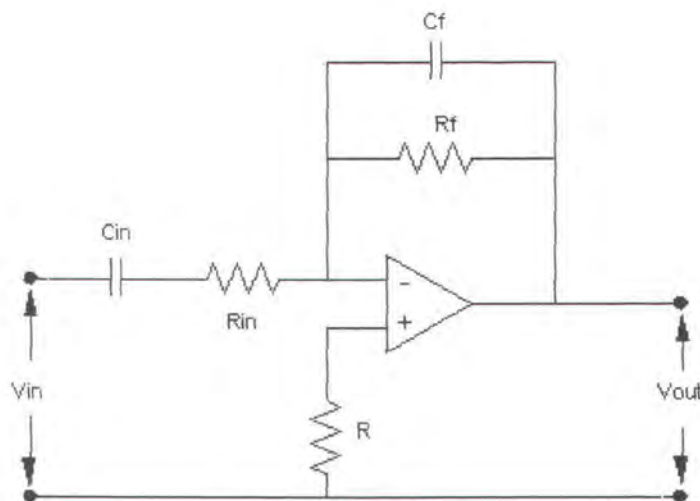
sehingga didapatkan:



$$E_{th} = V_s \left\{ \frac{1}{1 + \frac{C_{hmin} R_3}{C_h R_2}} - \frac{1}{1 + \frac{R_3}{R_2}} \right\} \quad (3.5)$$

b. Amplifier

Amplifier diperlukan untuk memeperkuat sinyal dari level yang rendah, seperti misalnya pada voltase output pada thermocouples atau strain gauge bridge, sampai pada level yang memungkinkan sinyal ini dapat diproses lebih lanjut.



Gambar 3.4 A. C. Amplifier

Karakteristik transfer dari a.c. amplifier ini diberikan oleh:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{R_f}{R_{in}} \quad (3.6)$$

Karena pada rancangan alat ini  $V_{in} = E_{th}$ , dengan memasukkan persamaan (3.5) maka diperoleh harga  $V_{out}$ .

$$V_{out} = -\frac{Z_F}{Z_{in}} \cdot V_s \left\{ \frac{1}{1 + \frac{C_{H \min}}{C_H} \cdot \frac{R_3}{R_2}} - \frac{1}{1 + \frac{R_3}{R_2}} \right\} \quad (3.7)$$

dimana:

$$Z_{in} = \frac{1}{C_{in}} s + R_{in} \quad (3.8)$$

$$\frac{1}{Z_F} = \frac{1}{R_F} + C_F s \quad (3.9)$$

$$R = \frac{R_F R_{in}}{R_F + R_{in}} \quad (3.10)$$

### 3.4 PEMROGRAMAN

Program ini dibuat untuk mensimulasikan model alat yang telah didefinisikan sehingga akan dapat diketahui perilaku model alat tersebut.

Sehingga dengan demikian dapat dilihat karakteristik output program sehubungan dengan besarnya simulasi yang dilakukan.

Untuk program simulasi ini penulis mengelompokkan program menjadi 5 bagian utama yaitu:

1. Bagian capacitive sensor
2. Bagian rangkaian jembatan wheatstone
3. Bagian A. C. amplifier
4. Bagian result table
5. Bagian result chart

Pada bagian 1, 2, dan 3 masing-masing mempunyai properties yang dapat diatur besarnya sesuai dengan yang diinginkan oleh pengguna dimana masing-masing input properties ini merupakan input dari program simulasi. Kotak dialog input dari properties ini terletak pada bagian kanan dari *Window* program.

Sedangkan pada bagian 4 dan 5 merupakan tampilan hasil running program simulasi. Berikut merupakan penjelasan tentang dari masing-masing bagian beserta cara kerja bagian tersebut.

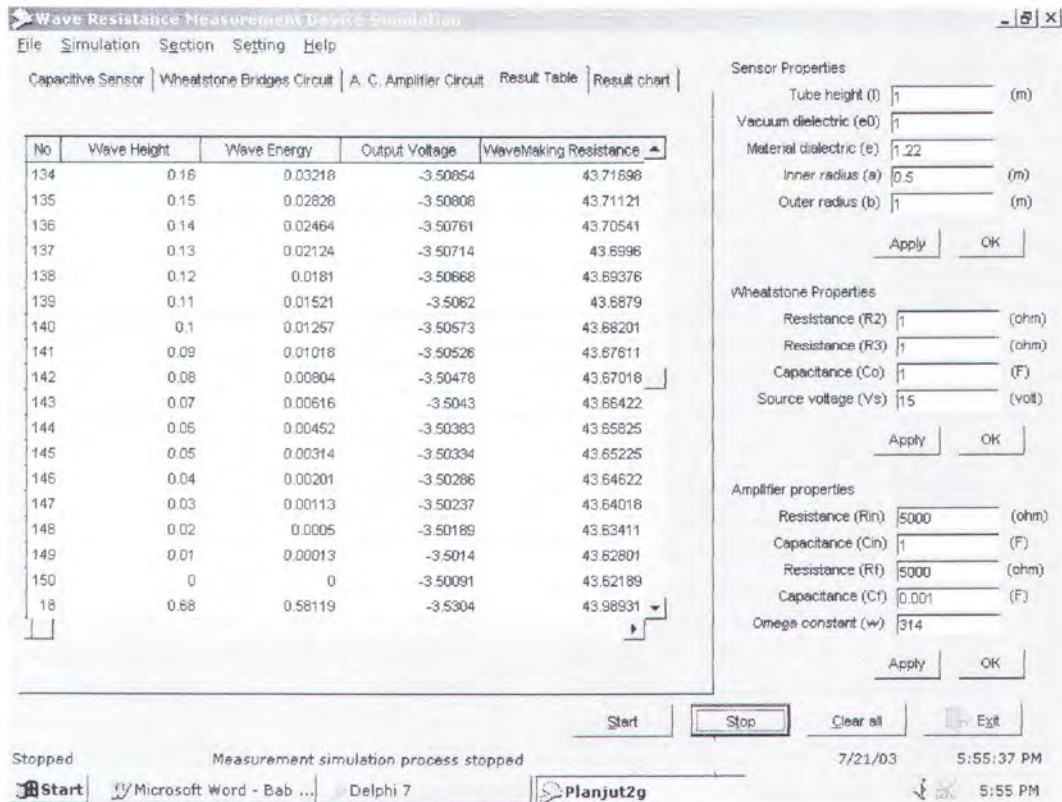
#### **3.4.1 Bagian capacitive sensor**

Pada bagian ini akan diperlihatkan animasi dari sebuah gerakan gelombang sinusoidal yang diilustrasikan dengan permukaan gelombang yang naik turun pada bagian dalam sensor.

Tinggi dari sensor dianggap merupakan tinggi gelombang maksimum yang dicapai. Animasi dilakukan dengan mempergunakan dua komponen *timer*. Satu timer dipergunakan untuk menganimasikan gelombang yang sedang mengalami kenaikan ketinggian hingga mencapai puncak gelombang, sedangkan timer yang lain dipergunakan untuk menganimasikan gelombang yang sedang mengalami penurunan ketinggian hingga mencapai lembah. Hal ini dilakukan dengan mengatur properti *Enabled* dari komponen timer sehingga saling memicu aktifnya kedua timer tersebut. Dengan pengaturan ini maka akan dapat tercipta suatu *looping* yang memperlihatkan gerakan gelombang.



dengan perubahan voltase sebesar 1,9676 volt. Sehingga dengan perhitungan sederhana didapatkan bahwa perubahan tiap volt setara dengan 12,46017 Newton.



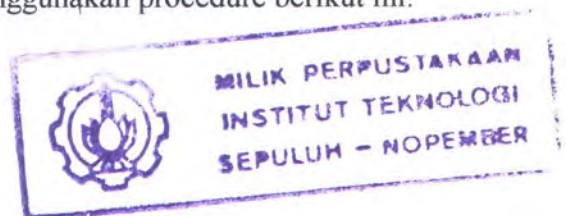
Gambar 3.8 Tampilan bagian result table

Keseluruhan hasil perhitungan program tersebut kemudian dimasukkan ke dalam sebuah tabel dengan nama WMResult.db sehingga berbentuk sebuah database.

Untuk memasukkan semua besaran tersebut; tinggi gelombang, energi, voltase output dan tahanan gelombang, maka penulis menggunakan procedure berikut ini:

```

procedure TMainProgram.InsertTable1Fields;
begin
  with Table1 do
    Table1.Insert;
    Table1.FieldName('No').AsVariant:=FormatFloat('0.#####',N);
  
```



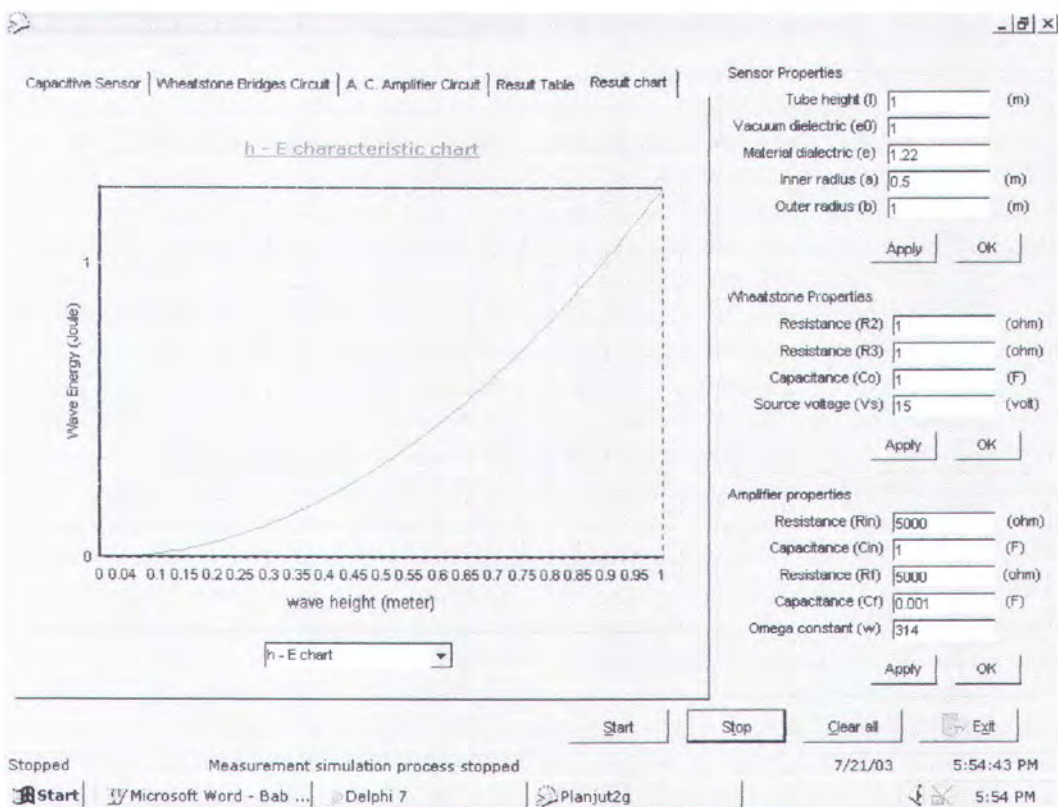
```

Table1.FieldByName('Wave Height').AsVariant:=FormatFloat('0.#####',h);
Table1.FieldByName('Wave Energy').AsVariant:=FormatFloat('0.#####',En);
Table1.FieldByName('OutputVoltage').AsVariant:=FormatFloat('0.#####',Vout);
Table1.FieldByName('WaveMaking
Resistance').AsVariant:=FormatFloat('0.#####',Abs(Rw));
Table1.Post;
end;

```

### 3.4.5 Bagian result chart

Bagian result chart ini kemudian akan mengolah database berbentuk table di atas ke dalam sebuah representasi grafik.



Gambar 3.9 Tampilan result chart

Grafik ini memperlihatkan karakteristik yang dimiliki hasil running program, ada tiga macam grafik yang diperlihatkan di sini:

- Grafik karakteristik h – E

- Grafik karakteristik  $V_{out} - h$
- Grafik karakteristik  $R_w - h$

Tiga macam grafik ini dapat dipilih dengan memilih kategori karakteristik grafik pada *combobox*.





BAB IV

INTERPRETASI HASIL  
PEMROGRAMAN

## BAB 4

### PENGUJIAN PROGRAM

#### 4.1 PENGUJIAN PROGRAM

Output komputasi yang dihasilkan dalam pemrograman ini adalah untuk mendapatkan data berupa hasil dari perhitungan besaran energi yang dihasilkan karena terjadinya perubahan dalam ketinggian gelombang, perubahan output tegangan model alat ukur yang dibahas pada bab 3 dan konversi dari besaran energi kedalam besaran tahanan gelombang.

Ketiga hasil komputasi program tersebut kemudian akan dianalisis lebih lanjut sehingga diketahui karakteristik dari masing-masing hasil tersebut.

Untuk memberi keyakinan terhadap unjuk kerja dari program simulasi maka dilakukan pengujian dimana data dari simulasi program:

Tabel 4.1 Data input untuk contoh program simulasi

Bagian sensor	Jembatan Wheatstone	A. C. Amplifier
Panjang Tabung = 0,1 m	Tahanan R1 = 1 $\Omega$	Tahanan Rin = 5 k $\Omega$
Dialektrik hampa = 1	Tahanan R3 = 1 $\Omega$	Tahanan Rf = 5 k $\Omega$
Dialektrik material = 1.22	Kapasitansi C0 = 1 Farad	Kapasitansi Cin = 0.1 Farad
Jari-jari dalam = 0,5 m	Tegangan sumber = 15 V	Kapasitansi Cf = 1 $\mu$
Jari-jari luar = 1 m		Konstanta omega = 314

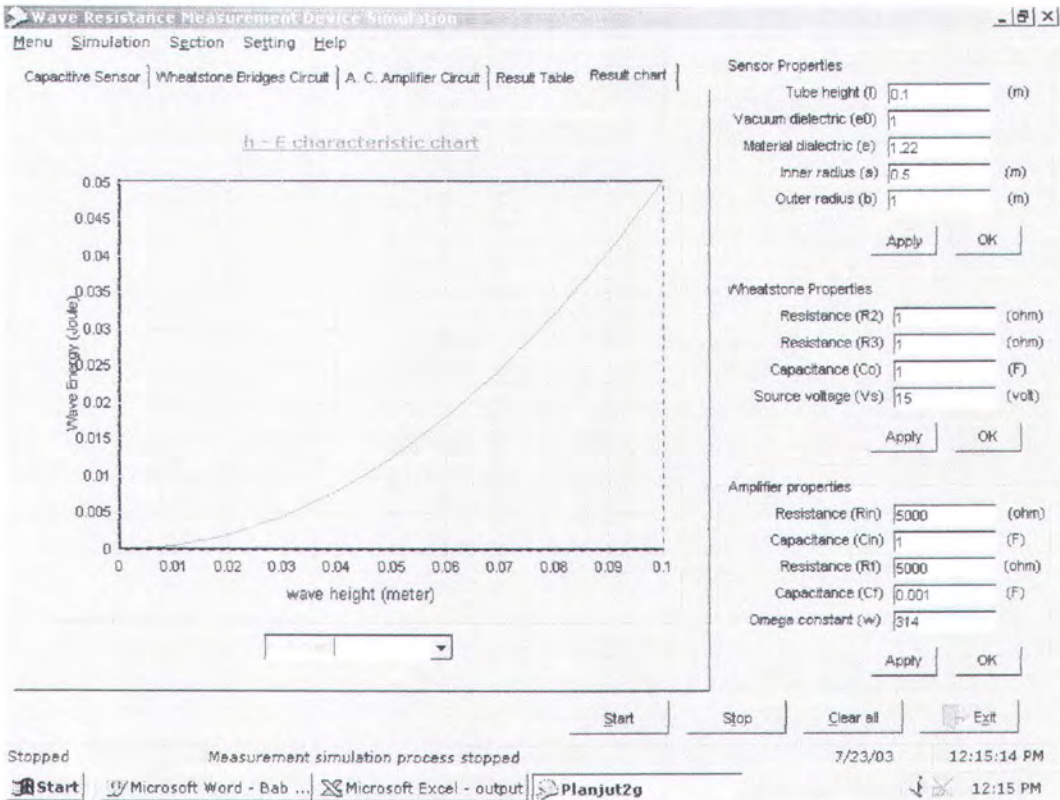
Hasil running program disajikan dalam Tabel 4.2 dan Gambar 4.1, 4.2, menggambarkan hubungan tinggi cairan (atau gelombang) dengan energi gelombang, perubahan voltase dan besar tahanan gelombang yang dihasilkan dari tinggi gelombang tersebut.

Tabel 4.2 Hubungan tinggi cairan dengan hasil output lainnya

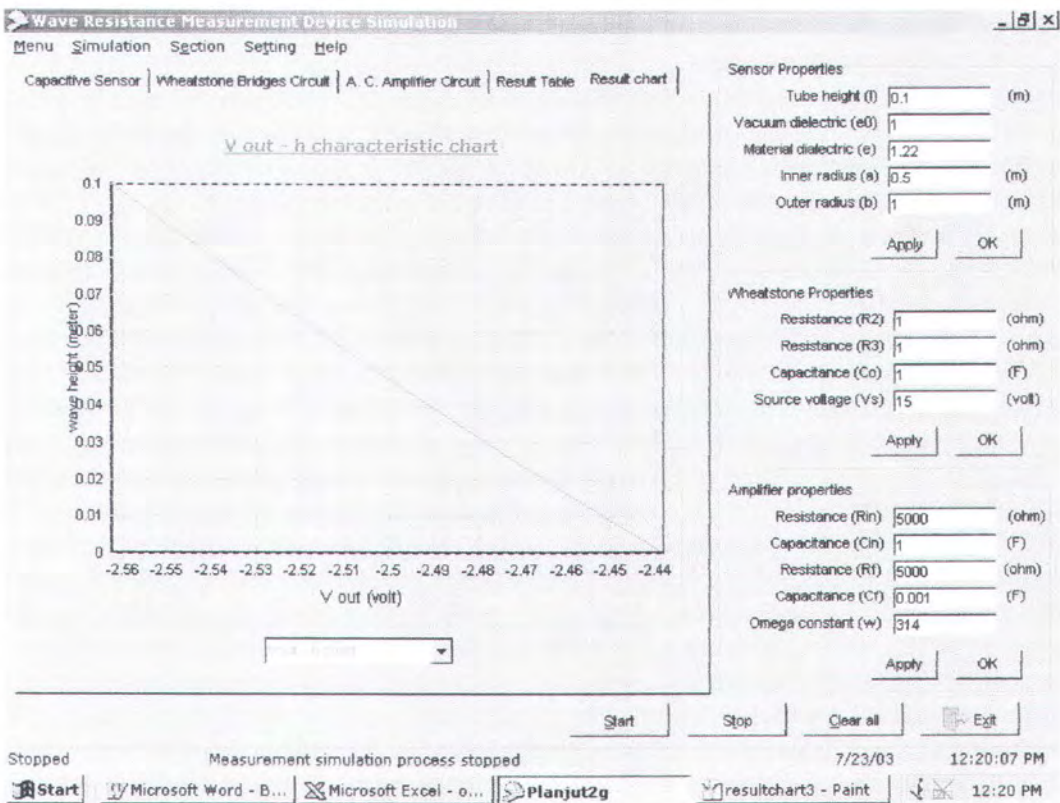
Tinggi cairan	Energi gelombang	Voltase output	Tahanan gelombang
0.01	0.0005	-2.45176	30.54936
0.02	0.00201	-2.46506	30.71501
0.03	0.00452	-2.47808	30.8773
0.04	0.00804	-2.49084	31.03632
0.05	0.01257	-2.50335	31.19219
0.06	0.181	-2.51562	31.34499
0.07	0.02464	-2.52764	31.49481
0.08	0.03218	-2.53943	31.64173
0.09	0.04072	-2.551	31.78585
0.1	0.05028	-2.5634	31.92724

Dari hasil ini dapat kemudian dapat dilihat karakteristik grafik dari hasil perhitungan tersebut pada result chart.

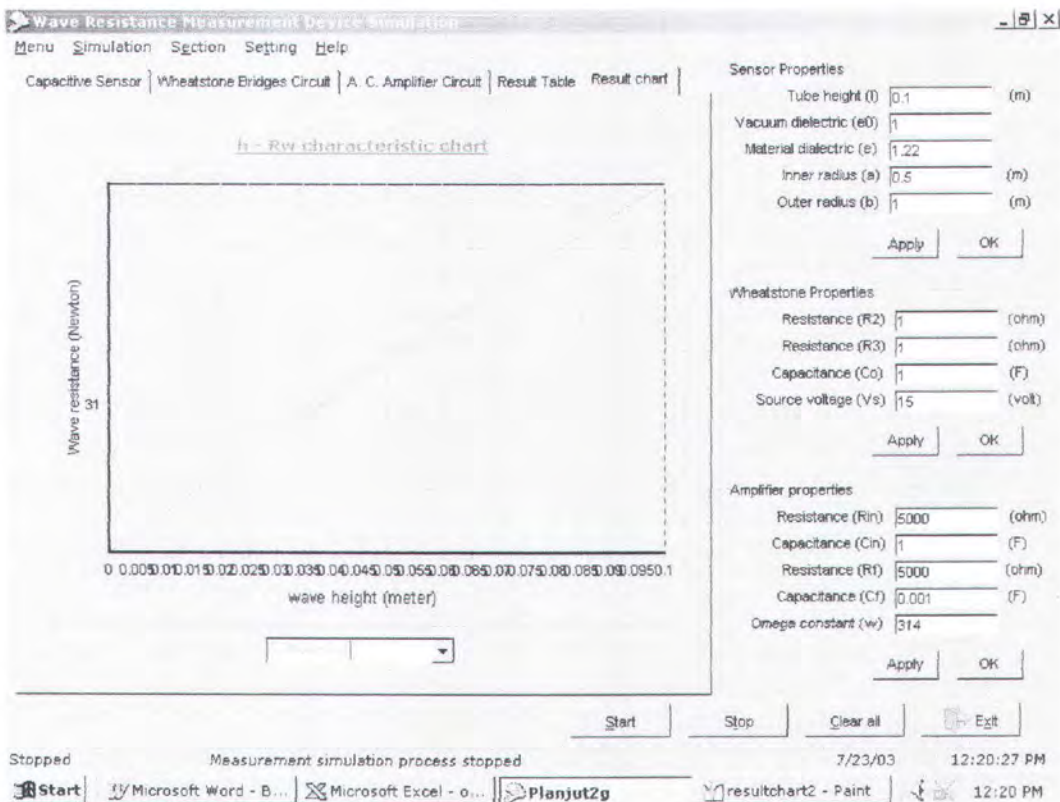




Gambar 4.1 h – E characteristic chart



Gambar 4.2 Vout – h characteristic chart



Gambar 4.3 h – R<sub>w</sub> characteristic chart

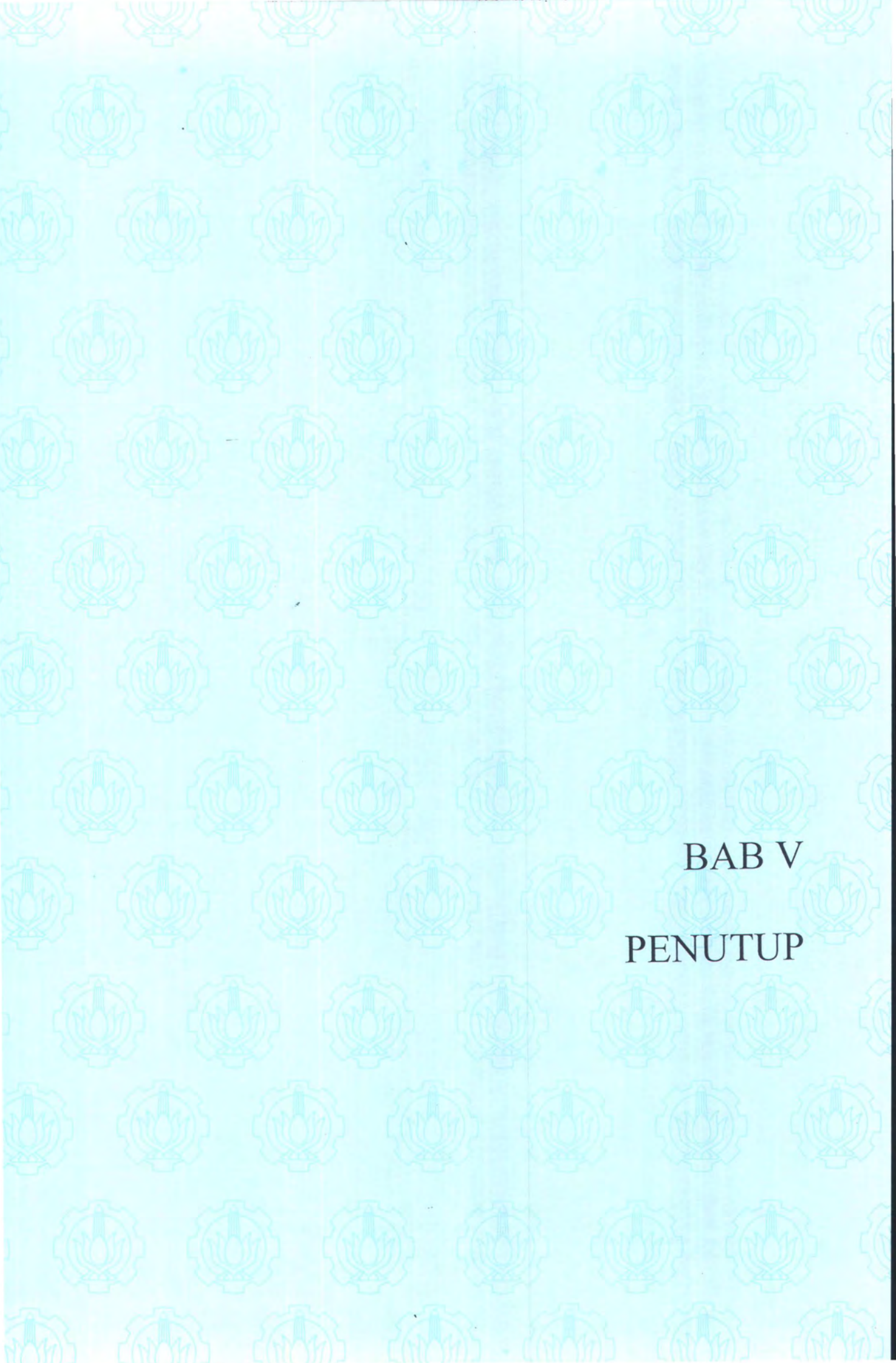
## 4.2 ANALISIS HASIL RUNNING PROGRAM

Secara ringkas dapat dikatakan bahwa peningkatan tinggi gelombang pada dielektrik akan berakibat pada meningkatnya energi gelombang yang ditimbulkan. Secara logika tampak bahwa peningkatan ketinggian pada kapasitor, dalam pengertian ideal, berarti peningkatan pada luas permukaan badan kapal. Selanjutnya akan terjadi peningkatan massa air yang mnyentuh badan kapal dan konsekwensinya meninggalkan energi gelombang yang lebih besar. Walau demikian peningkatan ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan voltase output yang diberikan. Perubahan yang terjadi relatif

sangat kecil dan diduga karena kecilnya perbedaan perubahan luas permukaan basah pada kapasitor seiring dengan perubahan ketinggian air.

Dikarenakan perubahan dari voltase kecil maka besarnya tahanan gelombang hasil perhitungan program juga bervariasi dengan kisaran kecil.





BAB V  
PENUTUP



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan analisa dan pengujian terhadap hasil output pemrograman pada simulasi alat ukur tahanan gelombang, maka langkah terakhir yang penulis lakukan adalah menarik kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan.

#### 5.1 KESIMPULAN

1. Simulasi yang dilakukan memperlihatkan bagaimana gerakan gelombang yang ditimbulkan oleh gerakan kapal dan dimodelkan menggunakan kapasitor dengan menggunakan air sebagai dielektrik, dimana naik turunnya permukaan air pada kapasitor dianggap sama dengan naik turunnya permukaan gelombang. Hal ini dapat direkam dan dianalisis secara matematis dan selanjutnya akan dapat dihitung besarnya energi gelombang dan besarnya voltase output. Besaran output ini selanjutnya dapat dikonversi dengan menggunakan suatu konstanta konversi sehingga dapat dihitung besarnya tahanan gelombang.
2. Dapat terlihat bahwa peningkatan tinggi gelombang berakibat pada peningkatan energi gelombang secara signifikan, membentuk persamaan linier. Peningkatan pada ketinggian air kapasitor, dalam pengertian ideal berarti peningkatan pada luas permukaan basah pada



kapal. Selanjutnya akan terjadi peningkatan massa air yang menyentuh badan kapal dan konsekwensinya akan menimbulkan gelombang yang lebih besar.

3. Peningkatan pada voltase output yang ditimbulkan juga tampak tetapi tidak terlalu signifikan. Penyebab dari hal ini diduga disebabkan oleh luas permukaan basah dari kapasitor yang kecil bila dibandingkan dengan luas permukaan kapal.
4. Peningkatan dari voltase tegangan ini kemudian menyebabkan terjadinya kenaikan tahanan gelombang dimana kenaikan dari tahanan gelombang ini membentuk persamaan linier dengan tinggi gelombang (air pada kapasitor) sehingga dapat dikatakan kenaikan tahanan gelombang sebanding dengan tinggi gelombang.

## 5.2 SARAN

Dikarenakan tidak adanya data eksperimen yang bersesuaian dengan tujuan penelitian ini, yaitu eksperimen yang memperlihatkan hubungan antara tinggi gelombang dengan besar tahanan gelombang maka belum dapat dilakukan verifikasi terhadap hasil akhir berupa kenaikan tahanan gelombang terhadap tinggi gelombang. Oleh karena itu perlu dipenjelasan lebih lanjut pada verifikasi hasil yang telah dicapai.





DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR PUSTAKA

Utama, I K. A. P., Dewanda, P. A., dan Ya'umar, "Rancang Bangun Alat Ukur Tahanan Gelombang Untuk Menunjang Pemilihan Bentuk Badan Kapal Yang Optimal", Laporan Akhir Hasil Pelaksanaan Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi, Jurusan Teknik Perkapalan ITS-Surabaya, 2002.

Bentley, J. P., "Principles of Measurement System", 3<sup>rd</sup> Edition, Longman Singapore Publisher, 1995.

Newman, J. N., "Marine Hydrodynamics", The MIT Press, 1935

Harvald, S. V., "Resistance and Propulsion of Ship", John Wiley and Sons, Annapolis, Maryland, USA, 1983

Van Lammeren, W. P. A., Troost, L., dan Koning, J. G., "Resistance, Propulsion and Steering of Ships", The Technical Publishing Company H. Stam-Haarlem, 1948.

Kadir, Abdul, "Dasar Pemrograman Delphi 5.0", Jilid 1, Andi Yogyakarta, 2001.

Alam, M. Agus J., "Belajar Sendiri Borland Delphi 6.0", Elex Media Komputindo, 2002

Lewis, Edward V., "Principles of Naval Architecture", Second Revision, Volume II, SNAME, 1988

Wehausen, John V., "The Wave Resistance of Ships", Advances in Applied Mechanics, volume. 13, 1973, pp. 93-245.

Havelock, T. H., "Wave Patterns and Wave Resistance", Trans. INA, Vol.76, 1934, pp. 430-442.

Djarmiko, Soekamto, "Tahanan Penggerak Kapal", Departement Pendidikan dan Kebudayaan, 1983



LAMPIRAN





## Lampiran 1. Listing Program

```
unit Lanjut2c;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Menus, ComCtrls, Buttons, About, TeeProcs,  
TeEngine, Chart, DbChart, DB, Grids, DBGrids, DBTables, Series, TeeFunci;
```

```
type
```

```
TMainProgram = class(TForm)  
PageControl1: TPageControl;  
TabSheet1: TTabSheet;  
TabSheet2: TTabSheet;  
TabSheet3: TTabSheet;  
TabSheet4: TTabSheet;  
MainMenu1: TMainMenu;  
File1: TMenuItem;  
New1: TMenuItem;  
Current1: TMenuItem;  
Exit1: TMenuItem;  
Properties1: TMenuItem;  
TimeInterval1: TMenuItem;  
Section1: TMenuItem;  
CapacitiveSensor1: TMenuItem;  
WheatstoneBridgesCircuit1: TMenuItem;  
Help1: TMenuItem;  
About1: TMenuItem;  
Help2: TMenuItem;  
GroupBox1: TGroupBox;  
GroupBox2: TGroupBox;  
GroupBox3: TGroupBox;  
Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label5: TLabel;  
Label6: TLabel;  
Image1: TImage;  
Edit1: TEdit;  
Edit2: TEdit;  
Image2: TImage;  
Label7: TLabel;
```

Label8: TLabel;  
Label9: TLabel;  
Label10: TLabel;  
Label11: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Edit3: TEdit;  
Image3: TImage;  
BitBtn1: TBitBtn;  
BitBtn2: TBitBtn;  
BitBtn4: TBitBtn;  
Label13: TLabel;  
Label14: TLabel;  
Label15: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Edit4: TEdit;  
Edit5: TEdit;  
Edit6: TEdit;  
Edit7: TEdit;  
Simulation2: TMenuItem;  
Start2: TMenuItem;  
Stop2: TMenuItem;  
ACAmplifier1: TMenuItem;  
ChartPreview1: TMenuItem;  
Image4: TImage;  
Label17: TLabel;  
Label18: TLabel;  
Label19: TLabel;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Edit8: TEdit;  
Edit9: TEdit;  
Edit10: TEdit;  
Edit11: TEdit;  
Edit12: TEdit;  
Edit13: TEdit;  
Edit14: TEdit;  
Label24: TLabel;  
Image5: TImage;  
Label25: TLabel;  
Edit15: TEdit;  
Image6: TImage;  
Label26: TLabel;  
Label28: TLabel;  
Label27: TLabel;

Edit16: TEdit;  
Edit17: TEdit;  
Label29: TLabel;  
Edit18: TEdit;  
Edit19: TEdit;  
Edit20: TEdit;  
Edit21: TEdit;  
Edit22: TEdit;  
Label30: TLabel;  
Label31: TLabel;  
Label32: TLabel;  
Label33: TLabel;  
Label34: TLabel;  
Button1: TButton;  
Button2: TButton;  
Edit23: TEdit;  
Edit24: TEdit;  
Edit25: TEdit;  
Edit26: TEdit;  
Label35: TLabel;  
Label36: TLabel;  
Label37: TLabel;  
Label38: TLabel;  
Button3: TButton;  
Button4: TButton;  
Edit27: TEdit;  
Edit28: TEdit;  
Edit29: TEdit;  
Edit30: TEdit;  
Edit31: TEdit;  
Button5: TButton;  
Button6: TButton;  
Label39: TLabel;  
Label40: TLabel;  
Label41: TLabel;  
Label42: TLabel;  
Label43: TLabel;  
StatusBar1: TStatusBar;  
Clearvalues1: TMenuItem;  
BitBtn3: TBitBtn;  
ComboBox1: TComboBox;  
N1: TMenuItem;  
Timer1: TTimer;  
Timer2: TTimer;  
Defaultvalue1: TMenuItem;  
Timer3: TTimer;



```
DBChart1: TDBChart;
DBChart2: TDBChart;
Shape1: TShape;
Shape2: TShape;
Shape3: TShape;
Shape4: TShape;
Shape5: TShape;
Shape6: TShape;
Shape7: TShape;
Shape8: TShape;
Shape9: TShape;
Shape10: TShape;
Shape11: TShape;
TabSheet5: TTabSheet;
Table1: TTable;
DBGrid1: TDBGrid;
DataSource1: TDataSource;
DBChart3: TDBChart;
Table1No: TStringField;
Table1WaveHeight: TFloatField;
Table1WaveEnergy: TFloatField;
Table1OutputVoltage: TFloatField;
Table1WaveMakingResistance: TFloatField;
LevelIncrement1: TMenuItem;
Query1: TQuery;
Series1: TLineSeries;
Series2: TLineSeries;
Series3: TLineSeries;
PrintDialog1: TPrintDialog;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
procedure PageControl1Change(Sender: TObject);
procedure WheatstoneBridgesCircuit1Click(Sender: TObject);
procedure ACAmplifier1Click(Sender: TObject);
procedure ChartPreview1Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure Timer2Timer(Sender: TObject);
```

```

procedure CapacitiveSensor1Click(Sender: TObject);
procedure Defaultvalue1Click(Sender: TObject);
procedure About1Click(Sender: TObject);
procedure Timer3Timer(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
procedure TimeInterval1Click(Sender: TObject);
procedure Levelincrement1Click(Sender: TObject);
procedure GrafikQuery;
procedure New1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
  procedure InsertTable1Fields;
end;

var
  MainProgram: TMainProgram;
  N,Akhir : word;
  l,e0,e,a,b,Ch,h,En : real;
  R2,R3,C0,Ca,Vs,Eth : real;
  Rin,Cin,Rf,Cf,R,Zf,Zin,Vout,w,Rw : real;
  levelinc,increment,incfactor: variant;

implementation

uses Interval, FluidLevel;

{$R *.dfm}

procedure TMainProgram.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
  Timer1.Enabled:=false;
  Timer3.Enabled:=false;
  if MessageDlg('Are you sure to close the application?', mtConfirmation,[mbYes,
mbNo], 0)
    = mrYes then Application.Terminate;

end;

procedure TMainProgram.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  PageControl1.TabIndex:=0;
  l:=1;
  h:=l/2;

```

```

e0:=1;
e:=1.22;
a:=0.5;
b:=1;
R2:=1;
R3:=1;
C0:=1;
Vs:=15;
Ch:=2*pi*e0*(1+(e-1)*h)/ln(b/a);
Rin:=5000;
Cin:=1;
Rf:=5000;
Cf:=0.001;
w:=314;
Timer2.Enabled:=true;
StatusBar1.Panels[2].Text:=DateToStr(Date);
DBChart3.Visible:=true;
DBChart3.Top:=12;
DBChart3.Left:=16;
DBChart3.Height:=385;
DBChart3.Width:=485;
end;

```

```

procedure TMainProgram.Button1Click(Sender: TObject);
begin
l:=StrToFloat(Edit18.Text);
e0:=StrToFloat(Edit19.Text);
e:=StrToFloat(Edit20.Text);
a:=StrToFloat(Edit21.Text);
b:=StrToFloat(Edit22.Text);
h:=l/2;
Shape1.Height:=100;
Shape2.Top:=160;
Shape2.Height:=100;
Shape4.Top:=160;
Shape4.Height:=100;
Shape6.Top:=130;
Shape7.Height:=100;
Shape8.Top:=147;
Ch:=2*pi*e0*(1+(e-1)*h)/ln(b/a);
En:=(1.025*9.81*sqr(l))/2;
Edit1.Text:=FormatFloat('0.#####',Ch)+' Farad';
Edit2.Text:=FormatFloat('0.#####',h)+' m';
Edit15.Text:=FormatFloat('0.#####',En)+' Joule';
end;

```



```

procedure TMainProgram.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  PageControl1.TabIndex:=1;
  l:=StrToFloat(Edit18.Text);
  e0:=StrToFloat(Edit19.Text);
  e:=StrToFloat(Edit20.Text);
  a:=StrToFloat(Edit21.Text);
  b:=StrToFloat(Edit22.Text);
  h:=l/2;
  Ch:=2*pi*e0*(1+(e-1)*h)/ln(b/a);
  En:=(1.025*9.81*sqr(l))/2;
  Edit1.Text:=FormatFloat('0.#####',Ch)+' Farad';
  Edit2.Text:=FormatFloat('0.#####',h)+' m';
  Edit15.Text:=FormatFloat('0.#####',En)+' Joule';
end;

```

```

procedure TMainProgram.Button3Click(Sender: TObject);
begin
  R2:=StrToFloat(Edit23.Text);
  R3:=StrToFloat(Edit24.Text);
  C0:=StrToFloat(Edit25.Text);
  Vs:=StrToFloat(Edit26.Text);
  Edit4.Text:=FormatFloat('0.#####',R2)+' ohm';
  Edit5.Text:=FormatFloat('0.#####',R3)+' ohm';
  Edit6.Text:=FormatFloat('0.#####',C0)+' Farad';
  Edit7.Text:=FormatFloat('0.#####',Vs)+' volt';
  Eth:=Vs*((1/(1+C0/Ch))+(1/(1+R3/R2)));
  Edit3.Text:=FormatFloat('0.#####',Eth)+' volt';
end;

```

```

procedure TMainProgram.Button4Click(Sender: TObject);
begin
  PageControl1.TabIndex:=2;
  R2:=StrToFloat(Edit23.Text);
  R3:=StrToFloat(Edit24.Text);
  C0:=StrToFloat(Edit25.Text);
  Vs:=StrToFloat(Edit26.Text);
  Edit4.Text:=FormatFloat('0.#####',R2)+' ohm';
  Edit5.Text:=FormatFloat('0.#####',R3)+' ohm';
  Edit6.Text:=FormatFloat('0.#####',C0)+' Farad';
  Edit7.Text:=FormatFloat('0.#####',Vs)+' volt';
  Eth:=Vs*((1/(1+C0/Ch))+(1/(1+R3/R2)));
  Edit3.Text:=FormatFloat('0.#####',Eth)+' volt';
end;

```

```

procedure TMainProgram.Button5Click(Sender: TObject);

```

begin

```
Rin:=StrToFloat(Edit27.Text);
Cin:=StrToFloat(Edit28.Text);
Rf:=StrToFloat(Edit29.Text);
Cf:=StrToFloat(Edit30.Text);
w:=StrToFloat(Edit31.Text);
Edit8.Text:=FormatFloat('0.#####',Cf)+' Farad';
Edit9.Text:=FormatFloat('0.#####',Rf)+' ohm';
Edit10.Text:=FormatFloat('0.#####',Cin)+' Farad';
Edit11.Text:=FormatFloat('0.#####',Rin)+' ohm';
R:=(Rf*Rin)/(Rf+Rin);
Zin:=(1/Cin)+Rin;
Zf:=Rf/(1+(Cf*Rf));
Vout:=-(Zf/Zin)*Eth;
Edit12.Text:=FormatFloat('0.#####',Eth)+' volt';
Edit13.Text:=FormatFloat('0.#####',R)+' ohm';
Edit14.Text:=FormatFloat('0.#####',Vout)+' volt';
Edit16.Text:=FormatFloat('0.#####',Zf)+' ohm';
Edit17.Text:=FormatFloat('0.#####',Zin)+' ohm';
end;
```

procedure TMainProgram.Button6Click(Sender: TObject);  
begin

```
Rin:=StrToFloat(Edit27.Text);
Cin:=StrToFloat(Edit28.Text);
Rf:=StrToFloat(Edit29.Text);
Cf:=StrToFloat(Edit30.Text);
w:=StrToFloat(Edit31.Text);
Edit8.Text:=FormatFloat('0.#####',Cf)+' Farad';
Edit9.Text:=FormatFloat('0.#####',Rf)+' ohm';
Edit10.Text:=FormatFloat('0.#####',Cin)+' Farad';
Edit11.Text:=FormatFloat('0.#####',Rin)+' ohm';
R:=(Rf*Rin)/(Rf+Rin);
Zin:=(1/Cin)+Rin;
Zf:=Rf/(1+(Cf*Rf));
Vout:=-(Zf/Zin)*Eth;
Edit12.Text:=FormatFloat('0.#####',Eth)+' volt';
Edit13.Text:=FormatFloat('0.#####',R)+' ohm';
Edit14.Text:=FormatFloat('0.#####',Vout)+' volt';
Edit16.Text:=FormatFloat('0.#####',Zf)+' ohm';
Edit17.Text:=FormatFloat('0.#####',Zin)+' ohm';
PageControl1.TabIndex:=0;
end;
```

procedure TMainProgram.CapacitiveSensor1Click(Sender: TObject);  
begin

```
PageControl1.TabIndex:=0;
CapacitiveSensor1.Checked:=true;
WheatstoneBridgesCircuit1.Checked:=false;
ACAmplifier1.Checked:=false;
ChartPreview1.Checked:=false;
end;
```

```
procedure TMainProgram.WheatstoneBridgesCircuit1Click(Sender: TObject);
begin
PageControl1.TabIndex:=1;
CapacitiveSensor1.Checked:=false;
WheatstoneBridgesCircuit1.Checked:=true;
ACAmplifier1.Checked:=false;
ChartPreview1.Checked:=false;
end;
```

```
procedure TMainProgram.ACAmplifier1Click(Sender: TObject);
begin
PageControl1.TabIndex:=2;
CapacitiveSensor1.Checked:=false;
WheatstoneBridgesCircuit1.Checked:=false;
ACAmplifier1.Checked:=true;
ChartPreview1.Checked:=false;
end;
```

```
procedure TMainProgram.ChartPreview1Click(Sender: TObject);
begin
PageControl1.TabIndex:=3;
CapacitiveSensor1.Checked:=false;
WheatstoneBridgesCircuit1.Checked:=false;
ACAmplifier1.Checked:=false;
ChartPreview1.Checked:=true;
end;
```

```
procedure TMainProgram.PageControl1Change(Sender: TObject);
begin
case PageControl1.TabIndex of
0: begin
CapacitiveSensor1.Checked:=true;
WheatstoneBridgesCircuit1.Checked:=false;
ACAmplifier1.Checked:=false;
ChartPreview1.Checked:=false;
end;
1: begin
CapacitiveSensor1.Checked:=false;
WheatstoneBridgesCircuit1.Checked:=true;
```



```

    ACAmplifier1.Checked:=false;
    ChartPreview1.Checked:=false;
end;
2: begin
    CapacitiveSensor1.Checked:=false;
    WheatstoneBridgesCircuit1.Checked:=false;
    ACAmplifier1.Checked:=true;
    ChartPreview1.Checked:=false;
end;
3: begin
    CapacitiveSensor1.Checked:=false;
    WheatstoneBridgesCircuit1.Checked:=false;
    ACAmplifier1.Checked:=false;
    ChartPreview1.Checked:=true;
end;
end;
end;

procedure TMainProgram.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
if h<=l-increment then
begin
    N:=N+1;
    h:=h+increment;
    incfactor:=200/l;
    levelinc:=increment*incfactor;
    Ch:=2*pi*e0*(1+(e-1)*h)/ln(b/a);
    En:=(1.025*9.81*sqrt(h))/8;
    Eth:=Vs*((1/(1+C0/Ch))+(1/(1+R3/R2)));
    R:=(Rf*Rin)/(Rf+Rin);
    Zin:=(1/Cin)+Rin;
    Zf:=Rf/(1+(Cf*Rf));
    Vout:=-((Zf/Zin)*Eth);
    Rw:=Vout*12.460167;
    Edit1.Text:=FormatFloat('0.#####',Ch)+' Farad';
    Edit2.Text:=FormatFloat('0.#####',h)+' m';
    Edit4.Text:=FormatFloat('0.#####',R2)+' ohm';
    Edit5.Text:=FormatFloat('0.#####',R3)+' ohm';
    Edit6.Text:=FormatFloat('0.#####',C0)+' Farad';
    Edit7.Text:=FormatFloat('0.#####',Vs)+' volt';
    Edit3.Text:=FormatFloat('0.#####',Eth)+' volt';
    Edit8.Text:=FormatFloat('0.#####',Cf)+' Farad';
    Edit9.Text:=FormatFloat('0.#####',Rf)+' ohm';
    Edit10.Text:=FormatFloat('0.#####',Cin)+' Farad';
    Edit11.Text:=FormatFloat('0.#####',Rin)+' ohm';
    Edit12.Text:=FormatFloat('0.#####',Eth)+' volt';

```

```

Edit13.Text:=FormatFloat('0.#####',R)+' ohm';
Edit14.Text:=FormatFloat('0.#####',Vout)+' volt';
Edit15.Text:=FormatFloat('0.#####',En)+' Joule';
Edit16.Text:=FormatFloat('0.#####',Zf)+' ohm';
Edit17.Text:=FormatFloat('0.#####',Zin)+' ohm';
Shape1.Height:=Shape1.Height-levelinc;
Shape2.Height:=Shape2.Height+levelinc;
Shape2.Top:=Shape2.Top-levelinc;
Shape4.Height:=Shape4.Height+levelinc;
Shape4.Top:=Shape4.Top-levelinc;
Shape6.Top:=Shape6.Top-levelinc;
Shape7.Height:=Shape7.Height-levelinc;
Shape8.Top:=Shape8.Top-levelinc;
Table1.Open;
Table1.First;
InsertTable1Fields;
end else
begin
Timer1.Enabled:=false;
Timer3.Enabled:=true;
end
end;

procedure TMainProgram.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  {Setting animation to midpoint}
  h:=1/2;
  increment:=0.01;
  levelinc:=increment*200;
  incfactor:=200/l;
  Shape1.Height:=100;
  Shape2.Top:=160;
  Shape2.Height:=100;
  Shape4.Top:=160;
  Shape4.Height:=100;
  Shape6.Top:=130;
  Shape7.Height:=100;
  Shape8.Top:=147;
  PageControl1.TabIndex:=0;
  Timer1.Enabled:=true;
  StatusBar1.Panels[0].Text:='Simulating . . . . .';
  StatusBar1.Panels[1].Text:='Measurement in progress';
end;

procedure TMainProgram.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin

```

```
Timer1.Enabled:=false;  
Timer3.Enabled:=false;  
StatusBar1.Panels[0].Text:='Stopped';  
StatusBar1.Panels[1].Text:='Measurement simulation process stopped';  
end;
```

```
procedure TMainProgram.BitBtn3Click(Sender: TObject);  
begin
```

```
    Timer1.Enabled:=false;  
    Timer3.Enabled:=false;  
    {Setting all field to zero}  
    StatusBar1.Panels[0].Text:='Ready';  
    StatusBar1.Panels[1].Text:='Please fill in all field values';  
    Edit1.Text:='0 Farad';  
    Edit2.Text:='0 m';  
    Edit4.Text:='0 ohm';  
    Edit5.Text:='0 ohm';  
    Edit6.Text:='0 Farad';  
    Edit7.Text:='0 volt';  
    Edit3.Text:='0 volt';  
    Edit8.Text:='0 Farad';  
    Edit9.Text:='0 ohm';  
    Edit10.Text:='0 Farad';  
    Edit11.Text:='0 ohm';  
    Edit12.Text:='0 volt';  
    Edit13.Text:='0 ohm';  
    Edit14.Text:='0 volt';  
    Edit15.Text:='0 Joule';  
    Edit16.Text:='0 ohm';  
    Edit17.Text:='0 ohm';  
    Edit18.Text:='0';  
    Edit19.Text:='0';  
    Edit20.Text:='0';  
    Edit21.Text:='0';  
    Edit22.Text:='0';  
    Edit23.Text:='0';  
    Edit24.Text:='0';  
    Edit25.Text:='0';  
    Edit26.Text:='0';  
    Edit27.Text:='0';  
    Edit28.Text:='0';  
    Edit29.Text:='0';  
    Edit30.Text:='0';  
    Edit31.Text:='0';  
    {Setting animation to initial condition}  
    Shapel.Height:=200;
```



