

**SIMULASI KESTABILAN SISTEM KONTROL PADA  
PERMUKAAN CAIRAN MENGGUNAKAN METODE KURVA  
REAKSI PADA METODE ZIEGLER-NICHOLS BERBASIS  
BAHASA DELPHI**

SKRIPSI

Oleh :

Munhidhotul Ummah (03540015)



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MALANG**

2008

**SIMULASI KESTABILAN SISTEM KONTROL PADA  
PERMUKAAN CAIRAN MENGGUNAKAN METODE KURVA  
REAKSI PADA METODE ZIEGLER-NICHOLS BERBASIS  
BAHASA DELPHI**

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada :  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri (UIN)Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh :**

**Munhidhotul Ummah  
(03540015)**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MALANG**

**2008**

**HALAMAN PERSETUJUAN****SIMULASI KESTABILAN SISTEM KONTROL PADA  
PERMUKAAN CAIRAN MENGGUNAKAN METODE KURVA  
REAKSI PADA METODE ZIEGLER-NICHOLS BERBASIS  
BAHASA DELPHI****Oleh :****Munhidhotul Ummah  
(03540015)**Telah Disetujui Untuk Diuji  
Malang, 11 April 2008

Dosen Pembimbing I

Dosen pembimbing II

Drs. M. Tirono, M.Si.  
NIP. 131 971 849Ahmad Barizi, M.A.  
NIP. 150 283 991Mengetahui,  
Ketua Jurusan FisikaDrs. M. Tirono, M. Si  
NIP. 131 971 849

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SIMULASI KESTABILAN SISTEM KONTROL PADA  
PERMUKAAN CAIRAN MENGGUNAKAN METODE KURVA  
REAKSI PADA METODE ZIEGLER-NICHOLS BERBASIS  
BAHASA DELPHI**

**SKRIPSI**

**Oleh :**

**Munhidhotul Ummah  
(03540015)**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi Dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal : 11 April 2008

Susunan Dewan Penguji :

1. . Penguji Utama : Imam Tazi, M.Si (.....)
2. Ketua Penguji : Irjan, M. Si (.....)
3. Seketaris Penguji : Drs. M. Tirono, M.Si (.....)
4. Anggota Penguji : Ahmad Barizi, M.A (.....)

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika

Drs. M. Tirono, M. Si  
NIP. 131 971 849

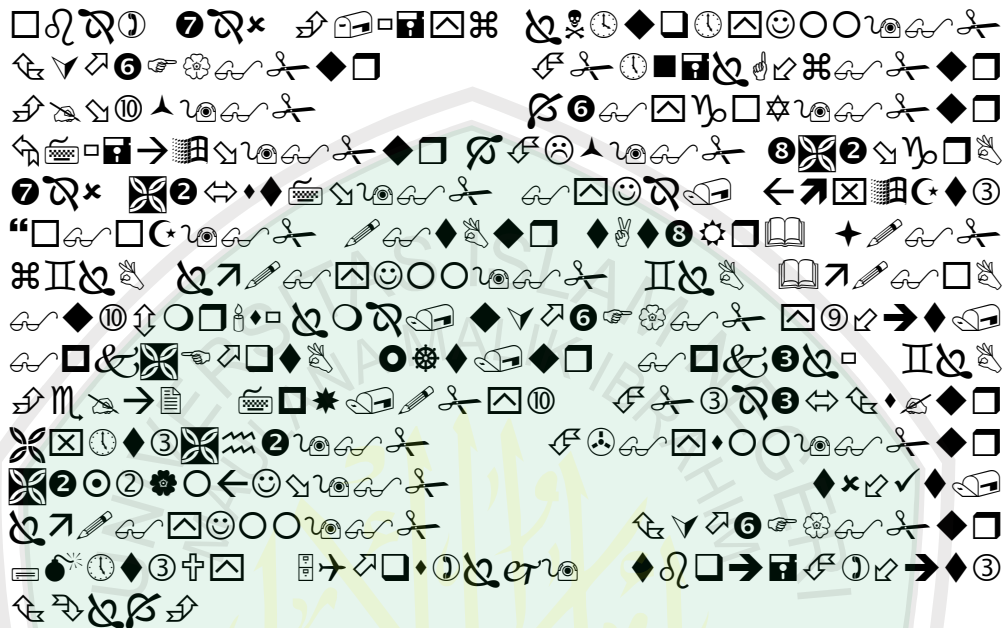
Sujud syukur penulis haturkan kehadiran Allah Swt, atas segala limpahan rahmat, hidayah, ketabahan kesabaran serta kesehatan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat melewati salah satu dari sekian episode kehidupan ini. Solawat serta salam semoga selalu terlimpahkan kepada rosululloh Muhammad Saw beserta keluarga dan sahabatnya.

KARYA KECIL INI KUBINGKISKAN UNTUK:

- ❖ Abah dan ibuku (**H. Zainal arifin, alm dan Hj. Khoirul li'ummah**) sebagai salah satu wujud baktiku pada beliau.
- ❖ Kakak2ku tersayang (**mas Agus, mas Afif, mbak Ida dan mbak Munjid**) yang banyak memberi semangat dalam pengerjaan skripsiku ini
- ❖ Calon suamiku (**Abdur Rahman**) yang selalu memberikan motivasinya
- ❖ Temen-temenku fisika '03 wa bil khusus "**al-Fatimah of the Gank**" 'n **kusairi** yang selalu setia menemani hari2 perjuanganku menyelesaikan skripsi he...he... (makasih ya...)

"Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat mengantarkan kesuksesan dunia akhirat"

# MOTTO



“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia, dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu dia hidupkan bumi sesudah mati (kering)-nya dan dia sebarkan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi; sungguh (terdapat) tanda-tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan”.

(Q.S AL-Baqarah/2: 164)

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah Swt. atas segala rahmat, taufiq serta hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“SIMULASI KESTABILAN SISTEM KONTROL PADA PERMUKAAN CAIRAN MENGGUNAKAN METODE KURVA REAKSI PADA ZIEGLER-NICHOLS BERBASIS BAHASA DELPHI”**

Shalawat serta salam tetap terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad Saw. yang telah membimbing umatnya ke jalan yang diridhoi Allah Swt. yakni *Diinul Islam*.

Penulis menyadari bahwa baik dalam perjalanan studi maupun dalam penyelesaian skripsi ini, penulis banyak memperoleh bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Prof. Dr. H. Imam Suprayogo, selaku rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Malang
2. Prof. Drs. Sutiman Bambang Sumitro, SU, DSc., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang
3. Drs. M. Tirono, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Malang sekaligus dosen pembimbing yang senantiasa memberi bimbingan dan arahan dalam penulisan skripsi ini dengan penuh sabar dan telaten

4. Ahmad Barizi, M.A.yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan selama penulisan skripsi dibidang integrasi Sains dengan Islam
5. Dosen Fisika Universitas Islam Negeri Malang yang senantiasa memberi ilmu dan informasi yang berhubungan dengan skripsi
6. Ayah dan ibu yang selalu membimbing, mendidik, mengarahkan, dan mendo'akan sehingga sampai pada detik-detik penulisan skripsi ini.
7. Teman-teman fisika 2003, serta semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini.

Tiada kata yang dapat penulis haturkan kecuali ***“Jazaakumullah Ahsanal Jazaa”*** semoga semua amal baiknya diterima oleh Allah Swt.

Dengan bekal dan kemampuan yang terbatas, penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan masih banyak kekurangan. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif selalu penulis harapkan. Semoga penyusunan skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Malang, 14 April 2008

Penulis

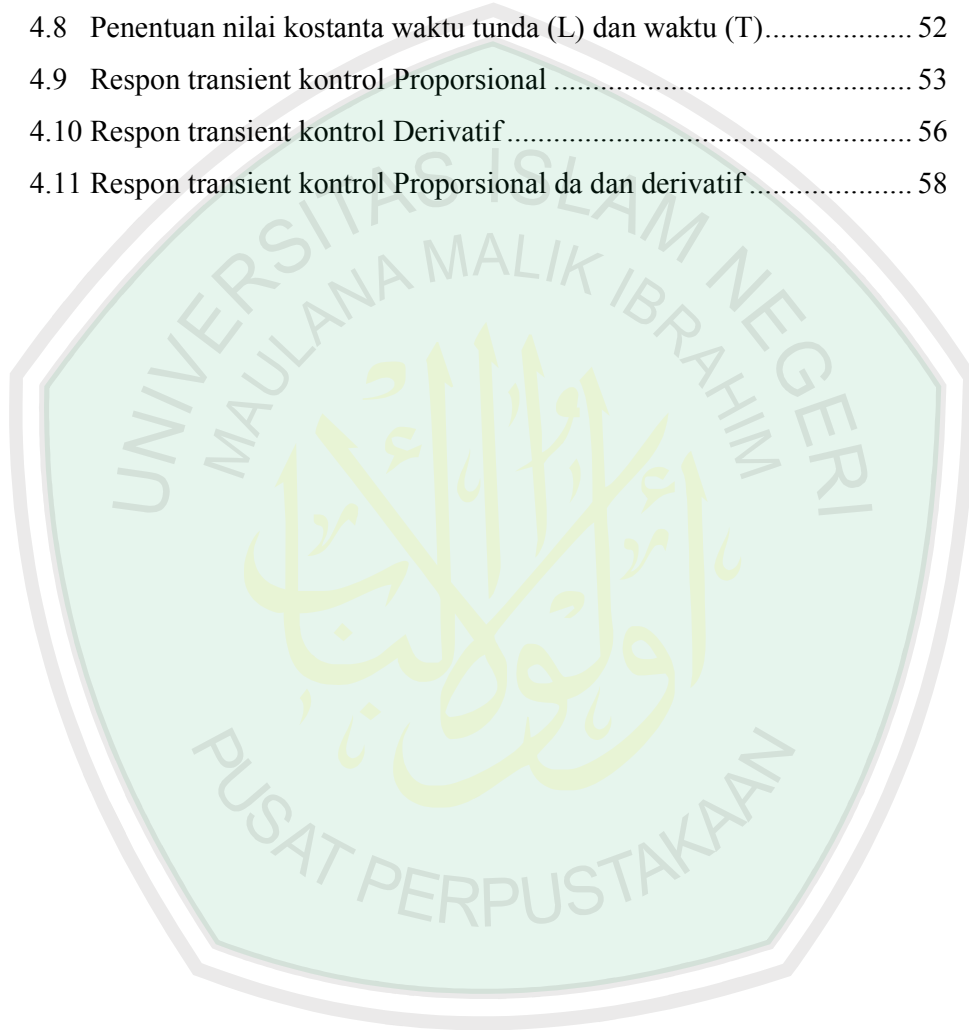
## DAFTAR TABEL

Table 1 Rumus penelaan parameter dengan metode kurva reaksi.....	26
Table 2 Rumus penelaan parameter dengan metode osilasi.....	27

## DAFTAR GAMBAR

2.1 Diagram blok rangkaian loop tertutup.....	12
2.3 Diagram blok rangkaian loop tertutup.....	13
2.3 Diagram blok sistem kontrol rangkaian tertutup.....	15
2.4 Diagram blok kontroler proporsional.....	17
2.5 Diagram blok kontroler derivative.....	18
2.6 Diagram blok kontroler proporsional derivative.....	19
2.7 Diagram blok keseimbangan alam.....	.....
2.8 Kurva tangga satuan menunjukkan $t_d$ , $t_r$ , $t_p$ , $m_p$ dan $t_s$ .....	24
2.9 Diagram blok sistem loop tertutup dan kurva tanggapan pada metode kurva reaksi.....	25
2.10 Diagram blok sistem loop tertutup dengan kontroler proporsional dan kurva tanggapan $c(t)$ terhadap $t$ pada metode osilasi.....	27
2.11 Sistem permukaan cairan dengan interaksi.....	29
2.12 Diagram blok sistem permukaan cairan dengan interaksi.....	31
3.1 Tahap implementasi.....	33
3.2 Flowchart timer.....	34
3.3 Flowchart open loop.....	35
3.4 Flowchart kontrol Proporsional.....	36
3.5 Flowchart kontrol Derivatif.....	37
3.6 Flowchart kontrol Proporsional dan Derivatif.....	38
3.7 Diagram blok loop tertutup.....	40
4.1 Sistem permukaan cairan dengan interaksi.....	43
4.2 Diagram blok sistem loop terbuka.....	46
4.3 Diagram blok loop tertutup pengontrol Proporsional.....	47

4.4	Diagram blok loop tertutup pengontrol Derivatif .....	47
4.5	Diagram blok loop tertutup pengontrol Proporsional dan derivatif ....	47
4.6	Grafik respon transient open loop .....	49
4.7	Respon transient loop terbuka (simulasi dengan program matlab).....	52
4.8	Penentuan nilai konstanta waktu tunda (L) dan waktu (T).....	52
4.9	Respon transient kontrol Proporsional .....	53
4.10	Respon transient kontrol Derivatif .....	56
4.11	Respon transient kontrol Proporsional dan derivatif .....	58



**DAFTAR LAMPIRAN**

1. **Data Hasil Penalaan Parameter** .....63
2. **Listing Program**.....64

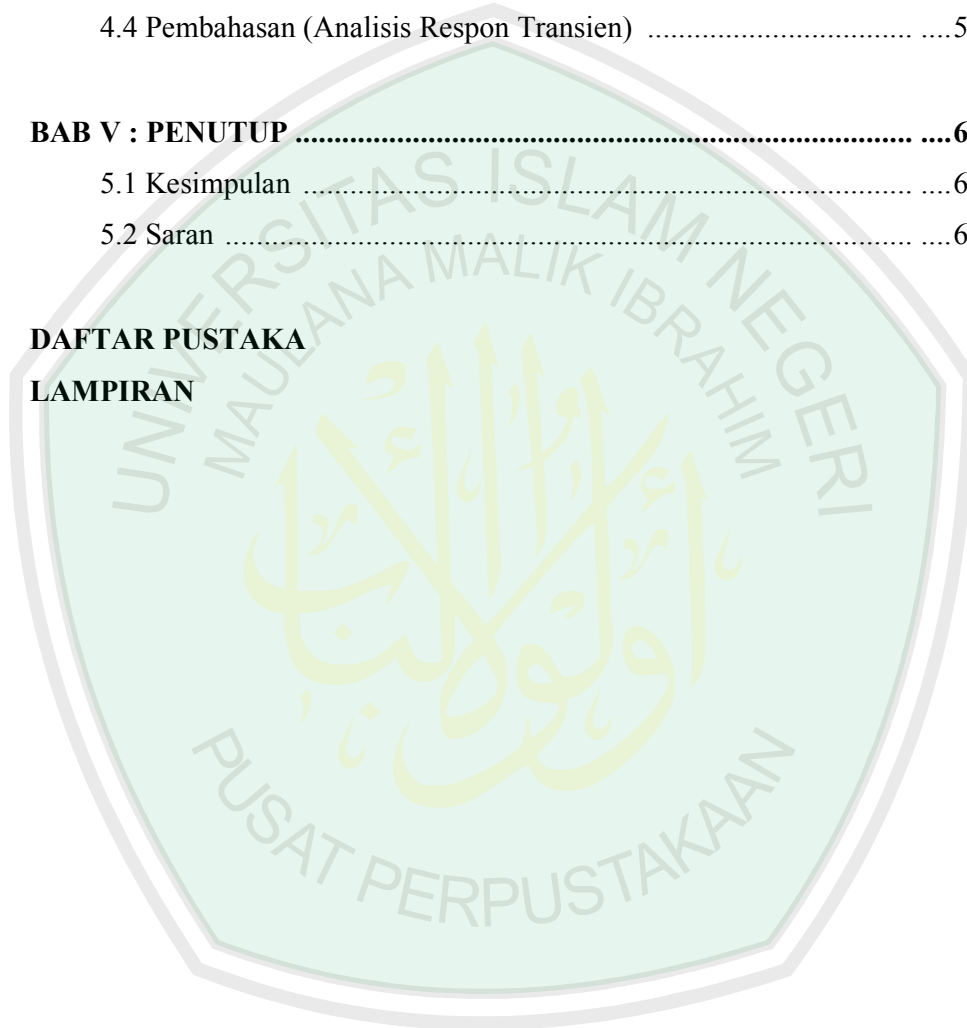


## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>.....i</b>
<b>HALAMAN PENGAJUAN .....</b>	<b>..... ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>.....iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>.....iv</b>
<b>MOTTO.....</b>	<b>.....v</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>.....vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>.....vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>.....ix</b>
<b>DAFTAR TABEL DAN GAMBAR.....</b>	<b>.....xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>.....xiii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>.....xv</b>
<b>BAB I : PENDAHULUAN .....</b>	<b>..... 1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Manfaat .....	6
1.5 Batasan Masalah .....	7
1.6 Sistematika penulisan.....	7
<b>BAB II : TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>..... 9</b>
2.1 Sistem Linear .....	9
2.2 Persamaan Differensial.....	9
2.2.1 Persamaan differensial linear .....	10
2.3 Transformasi Laplace .....	10
2.4 Diagram Blok.....	11
2.5 Fungsi Alih .....	12
2.4.1 Persamaan Karakteristik Fungsi Alih.....	12

2.6 Sistem Kontrol .....	13
2.6.1 Aksi Kontrol Proporsional .....	15
2.6.2 Aksi Kontrol Derivatif .....	17
2.6.3 Aksi Kontrol Proporsional Derivatif (PD) .....	17
2.7 Kestabilan .....	18
2.8 Respon Transient .....	21
2.9 Metode Ziegler-Nichols .....	23
2.9.1 Metode Kurva Raeksi .....	23
2.9.2 Metode Osilasi .....	25
2.10 Sistem Permukaan Cairan Dengan Interaksi .....	26
<b>BAB III : METODE PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	31
3.2 Alat-alat Penelitian .....	31
3.3 Tahapan Implementasi .....	31
3.3.1 Pemodelan .....	37
3.3.2 Diagram Blok Sistem Loop Tertutup .....	38
3.3.3 Penalaan Parameter Kontrol / Tahap Pengujian .....	39
3.4 Tahap Analisis .....	39
<b>BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Pemodelan .....	41
4.1.1 Pengaturan Fisik .....	41
4.1.2 Persamaan Sistem .....	42
4.1.3 Fungsi Alih Sistem .....	43
4.1.4 Diagram Blok Loop Terbuka Dan Loop Tertutup .....	44
a. Diagram Blok Loop Terbuka .....	44
b. Diagram Blok Loop Tertutup .....	45
4.1.5 Transformasi Laplace Balik Dan Representasi Program Delphi .....	46
a. Loop Terbuka ( <i>Open Loop</i> ) .....	46

b. Loop Tertutup Dengan Kontrol Proporsional .....	48
c. Loop Tertutup Dengan Kontrol D erivatif.....	58
d. Loop Tertutup Dengan Kontrol Proporsional dan derivatif .....	56
4.4 Pembahasan (Analisis Respon Transien) .....	59
<b>BAB V : PENUTUP .....</b>	<b>62</b>
5.1 Kesimpulan .....	62
5.2 Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## ABSTRAK

Ummah, Munhidhotul. 2008. **Simulasi Kestabilan Sistem Kontrol Pada Permukaan Cairan Menggunakan Metode Kurva Reaksi Pada Metode Ziegler-Nichols Berbasis Bahasa Delphi**. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang. Pembimbing: (1) Drs. M. Tirono, M.Si. (2) Ahmad Barizi, M.A.

---

**Kata kunci** : Simulasi, Kestabilan, Sistem Kontrol, Ziegler-Nichols

Dalam bidang teknologi telah dikembangkan suatu pengontrol yang dapat mengatur ketinggian cairan atau yang biasa disebut pengontrol ketinggian volume cairan. Pengontrol ketinggian volum ini telah banyak dimanfaatkan dalam rumah tangga ataupun industri. Skripsi ini berusaha membuat simulasi kestabilan dari sistem permukaan cairan pada program delphi untuk mempermudah mensimulasikan respon transiennya, serta dapat menghasilkan respon transien yang menunjukkan kestabilan dan performansi yang baik dengan metode kurva reaksi pada metode Ziegler-Nichols. Sistem dikatakan stabil apabila masukan acuan dan keluaran yang diinginkan terjadi suatu keseimbangan, sebagaimana telah digambarkan oleh Allah Swt. dalam al-Qur'an surat Ar-Ra'd ayat 2 bahwa Allah Swt. dalam hal ini sebagai pengontrol, menjaga keseimbangan alam dan menahan benda langit pada porosnya serta mencegahnya dari ketergelinciran di angkasa luar atau jatuh menimpa yang lain.

Sistem tangki air dimodelkan berdasarkan persamaan-persamaan yang ada pada tangki air sehingga menjadi persamaan differensial. Kemudian persamaan differensial diubah menjadi transformasi laplace (domain frekuensi) untuk memperoleh fungsi alih sistem, agar dapat disimulasikan pada program Delphi versi 7.0 maka fungsi alih diubah dalam domain waktu dengan cara me-laplace balikkan. Penalaan (*tuning*) parameter pengontrol berdasarkan metode kurva reaksi pada metode Ziegler-Nichols. Dari hasil pengujian terhadap pengontrol, baik pengontrol proporsional (P), derivatif (D) maupun proporsional derivatif (PD) dapat disimpulkan bahwa hasil respon transien yang terbaik dihasilkan oleh pengontrol PD dengan  $K_p = 0,1$  dan  $K_d = 0,5$  yang menunjukkan *settling time* sebesar 0,12s dan *overshoot* sebesar 0,05 serta tidak ada kesalahan keadaan tunak.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi berkembang sejalan dengan kehidupan manusia itu sendiri. Tidak ada satu bagian dari kehidupan kita yang terlepas dari sentuhan teknologi. Bahkan, segala sesuatu yang dilakukan oleh manusia untuk mempermudah dan memperlancar aktifitasnya termasuk dalam kategori teknologi. Penggunaan alat untuk tujuan tertentu dengan efektif dan efisien, mulai dari yang paling sederhana sampai yang paling canggih, merupakan bagian dari teknologi. Oleh karena itu, lingkup teknologi sangat luas, merambah keseluruhan aspek kehidupan manusia, meliputi semua perkembangan pola pemikiran manusia dari suatu teknik ke teknik yang lain.

Seiring dengan kemajuan zaman, kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping sangat diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudian pesawat dan sebagainya, kontrol otomatis telah menjadi bagian yang penting dan terpadu dari proses-proses dalam pabrik dan industri modern. Banyak industri dan pabrik yang membutuhkan sistem kontrol otomatis, baik untuk menunjang proses berjalannya industri tersebut ataupun untuk meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Misalnya, dalam proses industri diperlukan kontrol otomatis seperti pengontrolan tekanan, suhu, kelembaban, viskositas, dan arus.

Kontrol otomatis tidak hanya memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dari sistem dinamik, tetapi juga mempertinggi kualitas dan menurunkan biaya produksi, mempertinggi laju produksi, meniadakan pekerjaan-pekerjaan rutin dan membosankan yang harus dilakukan oleh manusia dan sebagainya. Teori kontrol yang meliputi pemodelan, analisis kestabilan, analisis performansi sistem, serta desain sistem telah dimulai pada tahun 1922 dan terus berkembang sampai saat ini. Pemahaman yang baik terhadap teori kontrol otomatis sangat diperlukan oleh sebagian besar ilmuwan, agar dapat mengaplikasikannya dengan tepat dan baik.

Air merupakan karunia Allah Swt. di bumi yang sangat berlimpah, baik di danau, di laut, sungai maupun air yang turun dari langit. Air termasuk salah satu kebutuhan primer bagi kehidupan makhluk di bumi. Mulai dari amoeba yang kedudukannya paling rendah sampai pohon kayu yang menjulang tinggi membutuhkan air sebagai sumber kehidupannya. Dengan air itulah siklus kehidupan makhluk terus berlangsung. Menurut Leopold (dalam *cakrawala ilmu dan Al-Qur'an*) mengatakan bahwa "Manusia dapat hidup beberapa pekan tanpa makanan, tetapi tanpa air, manusia hanya dapat mengharapkan hidup paling lama sepuluh hari". Beberapa bakteri hidup subur tanpa oksigen, tetapi baik bakteri maupun bentuk kehidupan lainnya tidak dapat tumbuh tanpa air. Leopold lebih lanjut menjelaskan bahwa manusia akan segera menemui ajalnya jika ia kehilangan sedikitnya lima belas persen saja dari air tubuhnya, dan hampir semua organisme sangat tergantung pada air, sebanyak lebih dari lima puluh persen dari bobot tubuhnya.

Dalam Al-Qur'an banyak ditemukan ayat-ayat yang berbicara tentang air, mulai dari proses terjadinya hujan sampai kegunaan air bagi kelangsungan hidup makhluk di bumi termasuk keperluan peribadatan. Oleh karena itu Allah memberi tempat air yang paling pertama dalam menyebutkan fenomena alamiah bumi, seperti difirmankan dalam surat Al-Mu'minun/ 23: 18.



*“Dan Kami turunkan air dari langit menurut suatu ukuran; lalu Kami jadikan air itu menetap di bumi, dan Sesungguhnya Kami benar-benar berkuasa menghilangkannya” (QS. Al-Mu'minun/23: 18)*

Dalam ayat Diatas Allah berfirman bahwa Allah menurunkan hujan dari langit menurut suatu ukuran. Hal ini berarti Allah menurunkan hujan dengan ukuran menurut kebutuhan, tidak terlalu banyak sehingga dapat merusak bumi, tidak pula terlalu sedikit sehingga tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan kehidupan di bumi. Oleh karena itu, manusia sebagai makhluk yang berakal, harus bisa memanfaatkan air yang telah diturunkan sebagai anugerah dengan sebaik-baiknya. Tidak lantas menghambur-hamburkan atau bahkan pemakaian yang berlebihan sehingga menghasilkan sesuatu yang tidak bermanfaat. Selain itu Allah mengharamkan pemakaian atau penggunaan segala sesuatu secara berlebihan.

Dalam bidang teknologi telah dikembangkan suatu pengontrol yang dapat mengatur aliran cairan atau biasa disebut pengontrol ketinggian volume cairan,

sehingga pemakaian cairan atau air tersebut sesuai dengan takaran yang telah ditentukan. Pengontrol ketinggian volume ini telah banyak dimanfaatkan baik dalam rumah tangga ataupun industri. Pengontrolan ketinggian volume cairan dibutuhkan oleh setiap industri yang berhubungan dengan penggunaan cairan. Sebagai contoh, industri air minum, PDAM, Pertamina dan lain sebagainya. Pengontrolan ketinggian volume ini dimaksudkan untuk menghindari adanya luberan cairan, menghindari terjadinya keterlambatan waktu antara pemberian perintah untuk mengatur aliran terhadap pelaksanaan pengaturan keran sehingga berakibat pada penunjukan indikator ketinggian air memberikan harga yang tidak tepat, menghindari adanya penempatan tenaga operator (pengatur keran) terutama ditempat-tempat yang sukar dicapai dan dilihat, serta dapat memberikan ketepatan (presisi) untuk kondisi-kondisi tertentu, seperti harga variabel yang tetap.

Suatu sistem diharapkan mempunyai performansi yang baik ditinjau dari respon sistem terhadap masukan yang disengaja, seperti perubahan set point ataupun yang tidak disengaja seperti gangguan dari luar sistem dan dalam sistem itu sendiri. Suatu sistem dikatakan tidak stabil jika responnya terhadap suatu masukan menghasilkan osilasi yang bergetar pada suatu harga amplitudo tertentu, sebaliknya suatu sistem disebut stabil jika sistem tersebut akan tetap dalam keadaan diam atau berhenti kecuali dirangsang oleh suatu fungsi masukan dan akan kembali dalam keadaan diam jika fungsi masukan dihilangkan. Ketidakstabilan merupakan suatu keadaan yang tidak menguntungkan bagi sistem loop tertutup, demikian juga bagi sistem loop terbuka. Dengan demikian dapat

dikatakan bahwa untuk memperoleh nilai yang memberikan manfaat praktis, sebuah sistem kontrol harus stabil.

Cara kerja dan prinsip-prinsip suatu sistem serta respon transien akan terasa sulit dipahami jika hanya menggunakan teori saja, oleh karena itu diperlukan suatu cara agar lebih mudah dalam memahami suatu sistem kontrol. Salah satunya adalah dengan membuat simulasi yang memanfaatkan komputer, sehingga lebih memudahkan pemakai. Dengan simulasi, memungkinkan kita untuk berinteraksi dengan komputer dan dapat melihat langsung serta menganalisis hasil simulasi tersebut.

Pada tugas akhir ini akan dibuat suatu simulasi sistem kontrol pada permukaan cairan yang saling berinteraksi dengan menggunakan metode Zigler-Nichols, hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam penalaan (*tunning*) parameter kontroler. Sistem terdiri dari tangki yang berinteraksi, katup pengontrol dan katup beban. Dengan adanya rancangan dalam bentuk simulasi mengenai sistem kontrol ini maka akan memudahkan pemakai memberikan input-input yang berbeda sehingga menghasilkan keluaran yang memberikan kestabilan suatu sistem kontrol.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka terdapat permasalahan sebagai berikut :

- a. Bagaimana membuat simulasi kestabilan sistem permukaan cairan dengan menggunakan metode kurva reaksi dalam metode *Ziegler-Nichols* pada program Delphi untuk mempermudah mensimulasikan respon transien?
- b. Bagaimana menghasilkan respon transien yang menunjukkan kestabilan dan performansi (kinerja sistem) yang baik pada sistem permukaan cairan dengan menggunakan metode kurva reaksi dalam metode *Ziegler-Nichols*?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Membuat simulasi kestabilan dari sistem permukaan cairan dengan metode kurva reaksi dalam metode *Ziegler-Nichols* pada program delphi untuk mempermudah mensimulasikan respon transien.
- b. Menghasilkan respon transien yang menunjukkan kestabilan dan performansi (kinerja sistem) yang baik pada sistem permukaan cairan dengan metode kurva reaksi dalam metode *Ziegler-Nichols*.

### 1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperoleh manfaat sebagai berikut

:

- a. Simulasi respon transien pada permukaan cairan dengan menggunakan metode *Ziegler-Nichols* dapat membantu mempermudah pemahaman suatu sistem kontrol
- b. Analisis terhadap suatu sistem akan lebih mudah dan cepat dilakukan
- c. Dapat meningkatkan kestabilan dan performansi (kinerja sistem) suatu sistem kontrol pada tangki permukaan cairan.

### 1.5 Batasan Masalah

- a. Sistem kontrol yang digunakan adalah linier dan sistem invarian waktu dengan  $Q(s)$  sebagai masukan, dan  $H_2(s)$  sebagai keluaran.
- b. Aksi kontrol yang digunakan adalah jenis proporsional, derivatif dan proporsional derivatif.
- c. Bahasa pemrograman yang akan digunakan adalah Delphi.
- d. Media yang dikontrol adalah cairan berupa air.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan suatu pembahasan skripsi diperlukan suatu sistematika agar semua pelaksanaan dan bentuk laporan tersusun secara sistematis, adapun sistematika yang digunakan ada lima bab yaitu :

#### BAB I : PENDAHULUAN

Pendahuluan meliputi : latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

## BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Berisi landasan teori yang membahas tentang teori-teori yang mendukung dalam penelitian.

## BAB III : METODE PENELITIAN

Membahas tentang waktu dan lokasi penelitian, alat penelitian, tahap implementasi, pengujian dan teknik analisa data. Bab ini merupakan langkah yang digunakan untuk membahas bab berikutnya.

## BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab membahas tentang hasil penelitian dan analisisnya sesuai dengan urutan masalah, yaitu membahas hasil pengujian dan unjuk kerja Delphi dari simulasi yang dibuat.

## BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran.

Selain kelima sistematika penulisan diatas, juga di tambahkan daftar pustaka dan lampiran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Linear

Sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan melakukan sasaran tertentu (Philips, 1998). Sistem dikatakan linear jika berlaku prinsip-prinsip superposisi. Prinsip superposisi menyatakan bahwa tanggapan yang dihasilkan dengan mengaplikasikan dua fungsi gaya berbeda secara bersamaan adalah jumlah dari dua tanggapan terhadap aplikasi fungsi tadi secara sendiri-sendiri. Jadi untuk sistem linear, tanggapan terhadap beberapa masukan dapat dihitung dengan mengerjakan masukan satu persatu dan menjumlahkan hasilnya. (Ogata, 1996, 101)

#### 2.2 Persamaan Differensial

Pernyataan lain secara matematis untuk sebuah sistem adalah persamaan differensial. Persamaan differensial adalah persamaan yang mengandung suku-suku variabel bebas dan tidak bebas, dimana terdapat bentuk differensial (turunan). Persamaan differensial dapat dikelompokkan sebagai berikut (Pakpahan, 1994, 53) :

- a. Persamaan differensial parsial (tidak banyak terdapat dalam sistem kontrol)
- b. Persamaan differensial biasa
  - Persamaan differensial linear
  - Persamaan differensial non linear

### 2.2.1 Persamaan Differensial Linear

Secara umum persamaan differensial dari sistem orde-n ditulis :

$$\frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = f(t) \quad (2.1)$$

Dari persamaan di atas, dikenal dengan persamaan differensial linear biasa jika koefisien  $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$  bukan merupakan fungsi dari  $y(t)$ . (Benjamin C. Kou, 1995, 19)

### 2.3 Transformasi Laplace

Metode transformasi laplace adalah suatu metode operasional yang dapat digunakan secara mudah untuk menyelesaikan persamaan differensial linear. Dengan transformasi laplace, kita dapat mengubah beberapa fungsi umum (seperti fungsi sinusoida, fungsi sinusoida terendam dan fungsi eksponensial) menjadi fungsi-fungsi variabel kompleks  $s$ . Bila persamaan aljabar dalam  $s$  dipecahkan, maka penyelesaian dari persamaan differensial (transformasi laplace balik dari variabel tak bebas) dapat diperoleh dengan menggunakan tabel transformasi laplace atau dengan teknik uraian pecahan parsial. Transformasi laplace dari  $f(t)$  didefinisikan sebagai berikut (Ogata, 1996,14-19) :

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dt [f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (2.3)$$

dimana :

$f(t)$  = fungsi waktu  $t$  sedemikian rupa sehingga  $f(t) = 0$  untuk  $t < 0$

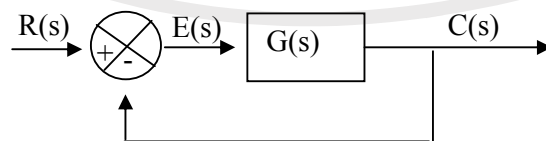
$s$  = Variabel kompleks

$\mathcal{L}$  = Simbol operasional yang menunjukkan bahwa besaran yang didahuluinya ditransformasi dengan integral laplace

$F(s)$  = Transformasi laplace dari  $f(t)$ .

## 2.4 Diagram Blok

Diagram blok suatu sistem adalah suatu penyajian bergambar dari fungsi yang dilakukan oleh tiap komponen dan aliran sinyalnya. Dalam diagram blok, semua variabel sistem saling dihubungkan dengan menggunakan blok fungsional. Blok fungsional atau biasa disebut blok adalah suatu simbol operasional matematik pada sinyal masukan blok yang menghasilkan keluaran. Fungsi alih dari komponen biasanya ditulis didalam blok, yang dihungkan dengan anak panah untuk menunjukkan arah aliran sinyal.

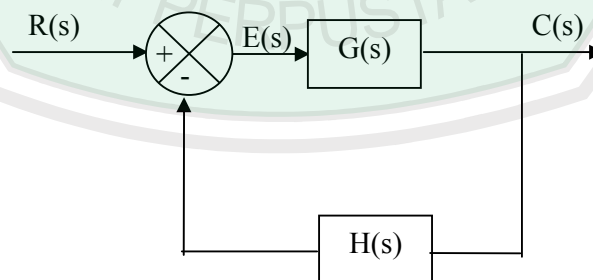


Gambar 2.1 Diagram blok rangkaian loop tertutup

Gambar di atas menunjukkan suatu contoh diagram blok sistem tertutup. Keluaran  $C(s)$  diumpan balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan acuan  $R(s)$ . Keluaran blok,  $C(s)$  dalam hal ini diperoleh dengan mengalikan fungsi alih  $G(s)$  dengan masukan blok,  $E(s)$ . Setiap sistem kontrol linier dapat dinyatakan dengan suatu diagram blok yang terdiri dari beberapa blok, titik penjumlahan, dan titik cabang. Jika keluaran diumpan-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan, maka perlu mengubah bentuk sinyal keluaran agar sama dengan bentuk sinyal masukan. (Ogata, 1996 : 47-49)

## 2.5 Fungsi Alih

Fungsi alih adalah perbandingan antara besaran keluaran terhadap masukan yang terdapat pada sebuah diagram blok. Pada umumnya suatu sistem kontrol rangkaian tertutup terjadi proses perubahan keluaran yang dikembalikan sebagian melalui proses umpan balik yang diberi notasi  $H$ . Diagram blok ditunjukkan pada gambar dibawah ini (Pakpahan, 1994) :



Gambar 2.2 Diagram Blok Rangkaian Loop Tertutup

### 2.4.1 Persamaan Karakteristik Fungsi Alih

Persamaan karakteristik fungsi alih didefinisikan sebagai perbandingan antara transformasi Laplace keluaran (fungsi tanggapan) terhadap transformasi Laplace masukan (fungsi penentu) dengan anggapan bahwa semua syarat awal nol (Ogata, 1996, 45). Fungsi alih sistem pada diagram blok di atas dapat dirumuskan sebagai berikut (Pakpahan, 1994, 23) :

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (2.4)$$

sehingga :

$$Y(s) = \frac{1}{1 + G(s)H(s)} G(s)X(s) \quad (2.5)$$

Dapat dikatakan bahwa respon adalah perkalian fungsi sistem terhadap fungsi masukan. Karena bentuk fungsi alih tidak dipengaruhi fungsi masukan maka tidak ada hubungan apakah sistem tersebut stabil atau tidak. Dengan demikian fungsi masukan adalah pembilang. Dalam persamaan di atas fungsi masukan dapat dibuat nol sehingga :

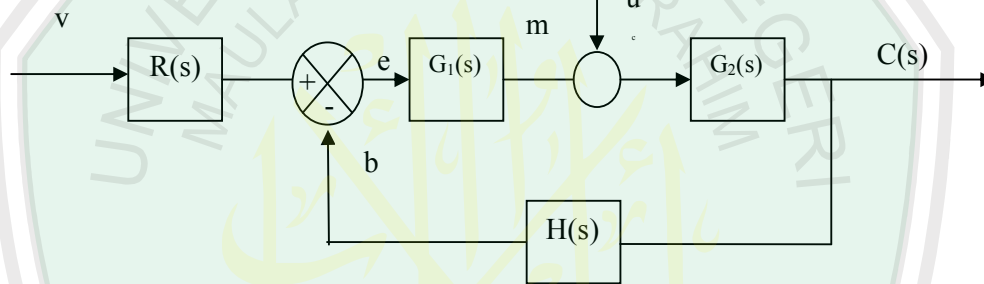
$$1 + G(s)H(s) = 0 \quad (2.6)$$

Persamaan di atas disebut persamaan karakteristik tertutup, dimana selanjutnya dari persamaan di atas dapat ditentukan suatu sistem akan stabil atau tidak. Persamaan di atas dapat dituliskan dalam bentuk yang lebih umum untuk orde- $n$  sebagai berikut (Pakpahan, 1994, 24) :

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} + a^n = 0 \quad (2.7)$$

## 2.6 Sistem Kontrol

Setiap proses kontrol terdiri dari unit yang membentuknya yang disebut elemen sistem dan selanjutnya elemen ini terdiri komponen-komponen. Suatu proses kontrol secara fungsional dapat dinyatakan oleh diagram blok yang bentuknya bergantung pada jumlah elemen. Diagram blok secara umum dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.3 : Diagram blok sistem kontrol rangkaian tertutup

Secara umum, elemen dari sebuah sistem kontrol rangkaian tertutup terdiri dari (Pakpahan, 1994,14) :

a. Masukan ( $R(s)$ )

Elemen ini berfungsi untuk mengubah besaran yang dikontrol menjadi sinyal masukan acuan ( $r$ ) bagi sistem kontrol

b. Pengontrol ( $G_1(s)$ )

Berfungsi untuk memproses kesalahan (error,  $e$ ) yang terjadi dan setelah kesalahan tersebut dilewatkan (dimasukkan melalui elemen pengontrol) akan dihasilkan sinyal yang berfungsi sebagai pengontrol proses

c. Sistem ( $G_2(s)$ )

Elemen ini dapat berupa mekanis, elektris, hidrolis, pneumatis maupun kombinasinya.

d. Jalur umpan balik ( $H(s)$ )

Bagian sistem yang mengukur keluaran yang dikontrol dan kemudian mengurangnya menjadi sinyal umpan balik.

e. Elemen / jalur maju

Bagian dari sistem kontrol tanpa elemen umpan balik.

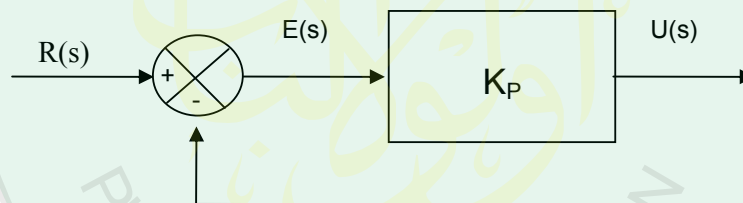
Berdasarkan jumlah elemen yang menyusun suatu sistem kontrol, terdapat beberapa variabel pengontrol, yaitu (Pakpahan, 1994,14) :

- a. Set point ( $v$ ) adalah harga yang diinginkan bagi variabel yang dikontrol selama pengontrolan
- b. Masukan acuan ( $r$ ) adalah sinyal aktual yang masuk kedalam sistem kontrol. Sinyal ini diperoleh dengan menyetel harga  $v$  melalui  $R(s)$ .
- c. Keluaran yang dikontrol ( $C(s)$ ) adalah harga / nilai yang akan dipertahankan bagi variabel yang dikontrol dan merupakan harga yang ditunjukkan oleh alat pencatat.
- d. Variabel yang dimanipulasi ( $m$ ) adalah sinyal yang keluar dari elemen pengontrol dan berfungsi sebagai sinyal pengontrol tanpa adanya gangguan  $u$ .
- e. Sinyal umpan balik ( $b$ ) adalah sinyal yang merupakan fungsi dari keluaran yang dicatat oleh alat pencatat.
- f. Kesalahan ( $e$ ) adalah selisih antara sinyal acuan  $r$  dan sinyal  $b$

- g. Sinyal gangguan ( $u$ ) adalah sinyal-sinyal tambahan yang tidak diinginkan.

### 2.6.1 Aksi Kontrol Proporsional (P)

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding / proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya) [Sharon, 1992, 19]. Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. (Choiruzzani, 1998



Gambar 2.4 Diagram blok kontroler proporsional

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara masukan  $U(t)$  dan sinyal pembangkit kesalahan  $E(t)$  adalah (Ogata : 1996 : 201)

$$U(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.8)$$

Atau dalam besaran transformasi laplace :

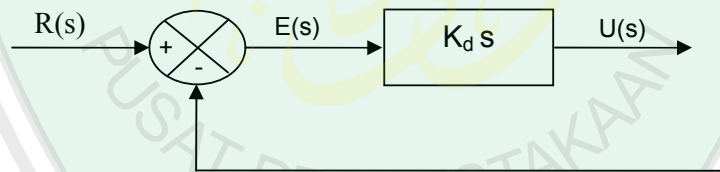
$$U(s)/E(s) = K_p \quad (2.9)$$

Dengan  $K_p$  adalah suku penguatan proporsional (Ogata : 1996 : 201)

Ciri-ciri kontroler proporsional harus diperhatikan ketika kontroler tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna kontroler proporsional harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini:

1. Kalau nilai  $K_p$  kecil, kontroler proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Kalau nilai  $K_p$  dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan mantabnya.
3. Namun jika nilai  $K_p$  diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi (Pakpahan, 1988, 193).

### 2.6.2. Aksi Kontrol Derivatif (D)



Gambar 2.5 Diagram blok kontroler derivatif

Kontrol derivatif menghasilkan keluaran yang tergantung pada laju perubahan sinyal kesalahan yang terjadi. Persamaan masukan dan keluaran kontrol derivatif adalah

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.10)$$

atau

$$\frac{U(s)}{E(s)} = KdTds \quad (2.11)$$

### 2.6.3. Aksi Kontrol Proporsional Derivatif (PD)

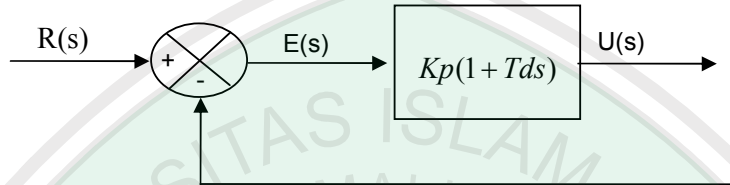


Diagram 2.6 : Blok kontroler Proporsional Derivatif

Gambar 2.6 menunjukkan diagram blok kontroler proporsional ditambah derivatif. Aksi kontrol proporsional derivatif didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$U(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.13)$$

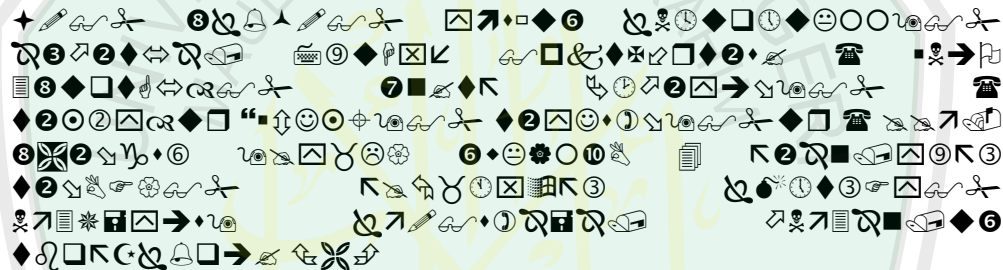
Atau fungsi alih kontroler ini adalah :

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + Tds) \quad (2.14)$$

Dengan  $K_p$  adalah penguatan proporsional dan  $T_d$  konstanta yang disebut waktu turun.  $K_p$  dan  $T_d$  keduanya dapat ditentukan. Aksi kontrol derivatif kadang-kadang disebut dengan laju kontrol dengan besaran keluaran kontroler proporsional ke laju perubahan sinyal pembangkit kesalahan. Waktu turunan  $T_d$  adalah waktu interval dengan laju aksi memberikan pengaruh pada aksi kontrol proporsional.

## 2.7 Kestabilan

Kestabilan suatu sistem ditentukan oleh tanggapannya terhadap masukan gangguan. Berdasarkan definisi kestabilan yang didasarkan atas tanggapan sistem terhadap masukan terbatas bahwa sistem adalah stabil jika masukan terbatas menghasilkan keluaran terbatas, artinya antara masukan acuan dan keluaran yang diinginkan (*set point*) harus terjadi keseimbangan. Fakta ilmiah ini telah digambarkan oleh Allah Swt. dalam Al-Qur'an sebagai berikut (Pasya, 2004: 52)



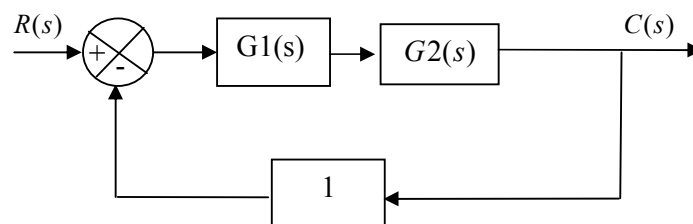
“Allah-lah yang meninggikan langit tanpa tiang (sebagaimana) yang kamu lihat, kemudian Dia bersemayam di atas 'Arasy, dan menundukkan matahari dan bulan. masing-masing beredar hingga waktu yang ditentukan. Allah mengatur urusan (mahluk-Nya), menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya), supaya kamu meyakini Pertemuan (mu) dengan Tuhanmu” (QS. Ar-Ra'du/13: 2)

Ayat ini menunjukkan beberapa fenomena alam yang diinformasikan oleh Allah untuk menunjukkan kesempurnaan-Nya dan hikmah yang sangat tinggi. Allah menciptakan langit tanpa tiang atau penopang yang dapat dilihat oleh mata. Dalam prespektif sains modern, tiang yang tidak terlihat dapat digambarkan semacam kuat medan (*field force*) yang bekerja sesuai dengan hukum tertentu untuk menjaga keseimbangan alam dan menahan benda langit pada porosnya serta mencegahnya dari ketergelinciran di angkasa luar atau jatuh menimpa yang lain.

Hal itu disebabkan benda-benda langit bergerak dibawah pengaruh gaya gravitasi dan gaya tolak untuk menghubungkan dan mencegahnya agar tidak jatuh.

Gaya gravitasi yang menarik dan menghubungkan benda-benda langit akan mendekatkan jarak dan mempertemukan antara benda-benda langit itu, sedangkan gaya tolak justru mendorong benda-benda itu jauh ke luar angkasa sesuai dengan pengaruh daya pada benda-benda itu. Untuk menjaga benda-benda angkasa itu tidak jatuh dan saling menimpa serta menjaga berlangsungnya perputaran pada porosnya, gaya gravitasi harus sebanding dengan gaya tolak (pasya, 2004: 54)

Dalam teori Kontrol, benda-benda langit berlaku sebagai sistem (*plant*) yang selalu dikontrol oleh pengontrol yaitu *field force* (Allah Swt.) agar gaya gravitasi (masukan acuan) yang menarik benda-benda langit tetap seimbang dan daya gerak (keluaran/ *set point*) yang diperoleh dari gaya tolak, dan loop tertutup (*close loop*) umpan balik akan membantu pengontrol untuk menentukan nilai respon yang dihasilkan *input* (gaya gravitasi) maupun *out put* (daya gerak) sehingga nantinya terjadi keseimbangan. Dengan terjadinya keseimbangan antara kekuatan atau gaya pengangkat dan kekuatan atau gaya pengikat menyebabkan benda-benda langit pada porosnya dapat berlangsung dengan baik dan stabil. Demikianlah seluruh komponen alam raya yang besar ini diatur sedemikian rupa oleh sistem yang sangat rapi untuk menunjukkan kekuasaan dan kebesaran Allah Swt. Komponen-komponen keseimbangan alam raya dapat digambarkan dalam diagram blok seperti dibawah ini



Gambar 2.7 Diagram blok keseimbangan alam

Keterangan :

$R(s)$  = gaya gravitasi (masukan acuan)

$G1(s)$  = *field force* (pengontrol dalam hal ini Allah Swt.)

$G2(s)$  = benda benda langit (sistem atau plant)

$C(s)$  = daya gerak (keluaran)

$H(s)$  = umpan balik berupa satuan

Sebuah sistem dikatakan tidak stabil, jika responnya terhadap suatu masukan menghasilkan osilasi yang keras atau bergetar pada suatu amplitude tertentu. Sebaliknya suatu sistem disebut stabil jika sistem tersebut akan tetap dalam keadaan diam atau berhenti kecuali dirangsang oleh suatu fungsi masukan dan akan kembali dalam keadaan diam jika rangsangan fungsi masukan dihilangkan. Ketidakstabilan merupakan suatu keadaan yang tidak menguntungkan bagi suatu sistem loop tertutup, demikian juga pada sistem loop terbuka. Jelas untuk memperoleh nilai yang memberikan manfaat praktis sebuah sistem kontrol harus stabil. Masukan sistem tidak memberikan pengaruh terhadap kestabilan suatu sistem, sehingga jika sistem tersebut stabil terhadap suatu masukan maka dia akan stabil untuk masukan yang ada. Sebaliknya stabilitas hanya bergantung pada karakteristik daripada sistem itu sendiri (Pakpahan, 1994, 114).

## 2.8 Respon Transien

Dalam beberapa kasus praktek, karakteristik kinerja yang diinginkan dari suatu sistem kontrol dicirikan oleh suku besaran berdomain waktu. Sistem dengan tenaga tidak dapat memberikan tanggapan seketika dan akan menunjukkan tanggapan transien walaupun diberi masukan atau gangguan.

Tanggapan transien suatu sistem kontrol secara praktek selalu menunjukkan osilasi terendam sebelum mencapai keadaan tunaknya. Dalam menggolongkan karakteristik tanggapan transien suatu sistem kontrol terhadap masukan tangga satuan, umumnya dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Waktu tunda,  $t_d$
- b. Waktu naik,  $t_r$
- c. Waktu puncak,  $t_p$
- d. Overshoot maksimum,  $M_p$
- e. Waktu turun,  $t_s$

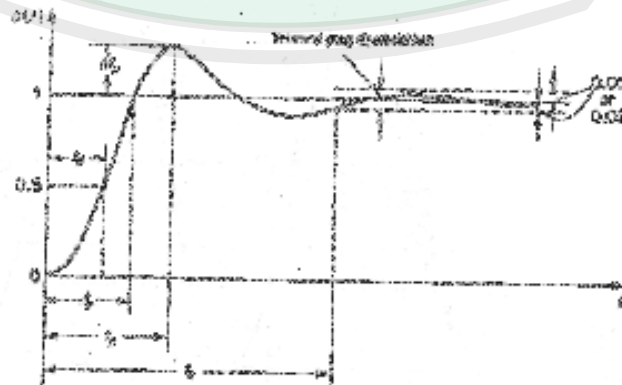
Pengelompokan ini didefinisikan sebagai berikut :

- a. Waktu tunda : waktu tunda adalah waktu yang diperlukan oleh tanggapan untuk mencapai setengah nilai akhir untuk waktu yang pertama.
- b. Waktu naik : waktu naik adalah waktu yang diperlukan oleh tanggapan untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95%, atau 0% menjadi

100% dari nilai akhir yang biasa digunakan. Untuk sistem atas redaman waktu naik yang biasa digunakan 10% menjadi 90%.

- c. Waktu puncak : waktu puncak adalah waktu yang diperlukan tanggapan untuk mencapai puncak pertama overshoot.
- d. Maksimum (persen) overshoot : overshoot maksimum adalah nilai puncak kurva tanggapan diukur dari satuan. Apabila nilai akhir keadaan tunak tanggapannya jauh dari satu, maka biasa digunakan persen overshoot maksimum.
- e. Waktu turun : waktu turun adalah waktu yang diperlukan untuk menanggapi kurva agar dapat mencapai dan tetap berada dalam gugus nilai akhir ukuran yang disederhanakan dengan presentase mutlak harga akhirnya (biasanya 2% atau 5%). Waktu turun tadi dihubungkan dengan tetapan waktu terbesar sistem kontrol.

Spesifikasi daerah waktu menjadi penting karena kebanyakan sistem kontrol merupakan sistem daerah waktu yaitu dapat menerima tanggapan waktu. (Ogata, 1996 : 285-287)



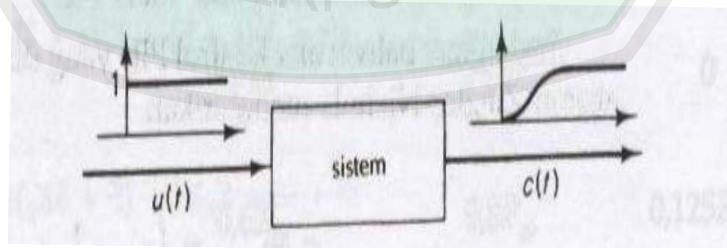
Gambar 2.8 Kurva tanggapan tangga satuan menunjukkan  $t_d$ ,  $t_r$ ,  $t_p$ ,  $m_p$  dan  $t_s$ .

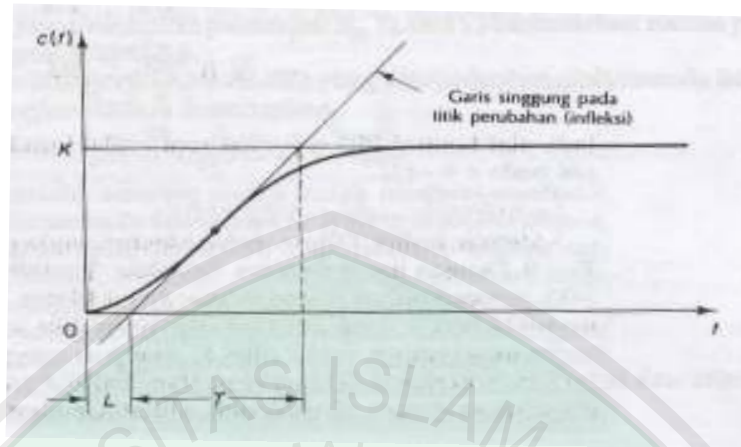
## 2.9 Metode Ziegler-Nichols

Zieger-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. metode ini memiliki dua cara yaitu metode kurva reaksi dan metode osilasi.

### 2.9.1 Metode Kurva Reaksi

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untaian terbuka. Plant sebagai untaian terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan, jika plant minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, maka reaksi sistem akan berbentuk s. Kurva berbentuk s mempunyai dua konstanta, yaitu : waktu mati (*dead time*)  $L$  dan waktu tunda  $T$ . Konstanta waktu ditentukan dengan menggambarkan garis singgung pada titik perubahan kurva berbentuk s dan menentukan perpotongan garis singgung dengan sumbu waktu dan garis  $c(t)=K$ , seperti pada gambar dibawah. Penalaan parameter PID didasarkan pada perolehan kedua konstanta itu.





Gambar 2.9 Diagram blok sistem loop tertutup dan kurva tanggapan pada metode kurva reaksi

Rumus penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi dapat dilihat pada table berikut :

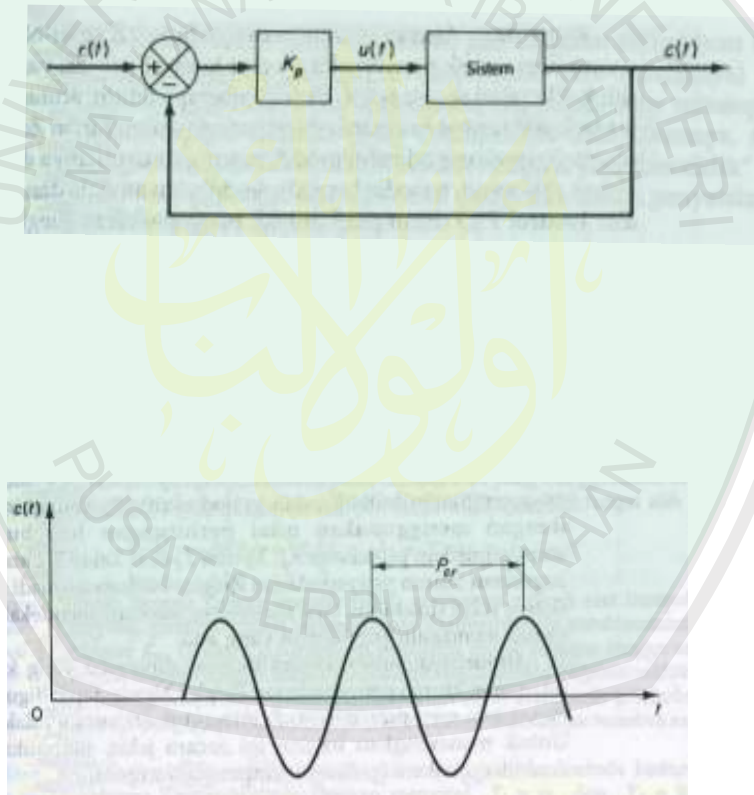
Tabel 1. Rumus penalaan parameter dengan metode kurva reaksi

Tipe kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/L$	~	0
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 T/L$	$2 L$	$0.5 L$

### 2.9.2 Metode Osilasi

Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untaian tertutup. Plant disusun serial dengan kontroler PID. Semula parameter-parameter integrator disetel tak

berhingga dan parameter diferensial disetel nol ( $T_i = \infty$ ,  $T_d = 0$ ), parameter proporsional dinaikkan bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan magnitude tetap (sustain oscillation). Nilai penguatan proporsional pada saat sistem mencapai kondisi sustain oscillation disebut ultimate gain  $K_u$ . Periode dari *sustained oscillation* disebut periode  $T_u$ .



Gambar 2.10 Diagram blok sistem loop tertutup dengan kontroler proporsional dan kurva tanggapan  $c(t)$  terhadap  $t$  pada metode osilasi

Rumus penalaan parameter PID dengan metode osilasi dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 2. rumus penalaan parameter dengan metode osilasi

Tipe alat kontrol	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 K_{cr}$	~	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$1/1.2 P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

## 2.10 Sistem Permukaan Cairan Dengan Interaksi

Allah SWT berfirman dalam surat Ar-Rahman ayat 19-20 sebagai berikut:



*Dia membiarkan dua lautan mengalir yang keduanya kemudian bertemu, Antara keduanya ada batas yang tidak dilampaui masing-masing (Q.S. Ar-Rahman, 19-20)*

Sifat lautan yang saling bertemu, akan tetapi tidak bercampur satu sama lain telah ditemukan oleh para ahli fisika kelautan baru-baru ini. Dikarenakan gaya fisika yang dinamakan tegangan permukaan, air dari laut-laut yang saling bersebelahan tidak menyatu. Akibat adanya perbedaan massa jenis, tegangan permukaan mencegah lautan bercampur satu sama lain, seolah terdapat dinding atau selaput tipis yang memisahkan mereka.

Gejala yang tampak di permukaan zat cair pada umumnya, air pada khususnya tidak terlepas dari adanya gaya-gaya antara partikel atau antara molekul suatu zat yang pada umumnya bersal dari kelistrikan yang secara umum

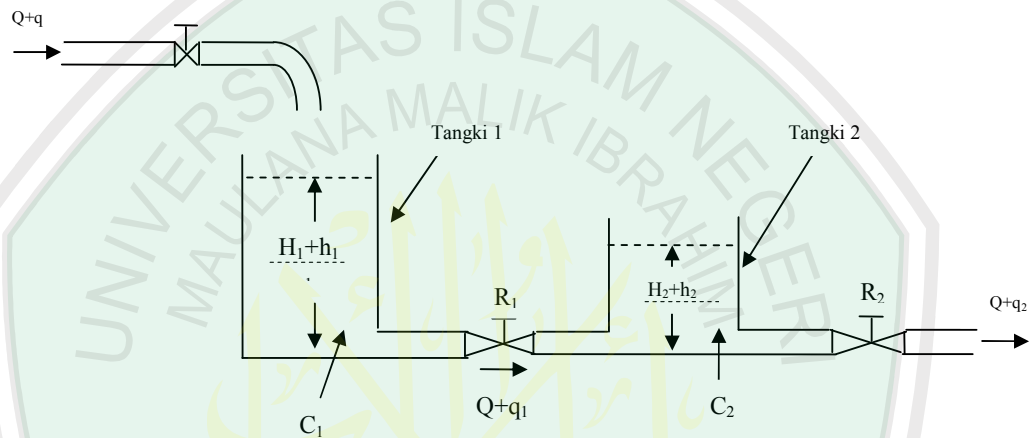
gaya ini berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya. Jika jarak antara molekul-molekul itu besar, misalnya pada gas, maka gaya ini sangat kecil dan hanya berupa suatu tarikan. Gaya tarik ini akan bertambah besar jika gas dimampatkan dan jarak antara molekulnya diperkecil. Karena untuk memampatkan zat cair diperlukan tekanan yang besar yaitu untuk memaksa agar molekul-molekul bertambah dekat, maka pada jarak yang sedikit lebih kecil dari pada dimensi molekul, gaya itu merupakan gaya tolak yang relatif besar.

Gaya tarik-menarik antara partikel atau molekul sejenis sebagai akibat peristiwa kelistrikan (listrik statis) dikenal dengan gaya kohesi. Dari gaya seperti inilah seolah-olah terdapat selaput tipis yang memisahkan antara zat cair yang satu dengan yang lain, serta mampu menahan benda-benda kecil di permukaannya. Karena gaya-gaya kohesi resultan ini menyebabkan permukaan zat cair menjadi tegang, maka sifat ini disebut dengan tegangan permukaan.

Seperti yang telah dijelaskan dalam Al-Quran surat Ar-Rahman ayat 19-20, maka dapat ditarik suatu kaidah tertentu tentang sifat dari laut, dalam hal ini zat cair, bahwa mereka bersama tetapi tidak bercampur satu dengan yang lainnya disebabkan oleh adanya tegangan permukaan sebagai akibat gaya kelistrikan pada molekul sejenis yang dikenal dengan gaya kohesi. Permukaan zat cair secara alami telah memiliki apa yang disebut tegangan permukaan. Tetapi dengan hadirnya partikel-partikel ion positif dan negatif dalam cairan tersebut, akan memberikan pengaruh yang besar terhadap sifat terbentuknya lapis batas antara permukaan dua cairan. Ion-ion pada permukaan lautan, dengan adanya medan listrik lain di dekatnya akan terdistribusi membentuk lapis ganda listrik.

Jika dua lapis ganda listrik saling mendekati satu sama lain, maka akan terjadi interaksi tolak menolak antara kedua permukaannya. Hal ini menyebabkan kedua zat cair itu tidak dapat bercampur, tampak seperti ada pembatas antara keduanya.

Tinjau sistem dibawah ini :



Gambar 2.11s Sistem permukaan cairan dengan interaksi

Keterangan :

$Q$  = laju keadaan tunak (sebelum ada perubahan), (m/s)

$q$  = penyimpangan kecil laju aliran masuk pada keadaan tunak, (m/s)

$q_1$  = penyimpangan kecil laju aliran keluar tangki 1 keadaan tunak, (m/s)

$q_2$  = penyimpangan kecil laju aliran keluar tangki 2 keadaan tunak, (m/s)

$H$  = tinggi permukaan zat cair pada keadaan tunak, (m)

$h$  = penyimpangan kecil permukaan zat cair pada keadaan tunak, (m)

$R$  = resistensi, (s/m<sup>2</sup>)

$C$  = kapasitansi, (m<sup>2</sup>)

Dalam sistem ini, dua tangki berinteraksi, sehingga fungsi alih sistem ini bukan merupakan hasil kali dua fungsi alih orde pertama. Dengan simbol seperti gambar, maka diperoleh persamaan berikut (Ogata, 1996, 140)

$$\frac{h_1 - h_2}{R_1} = q_1 \quad (2.17)$$

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} = q - q_1 \quad (2.18)$$

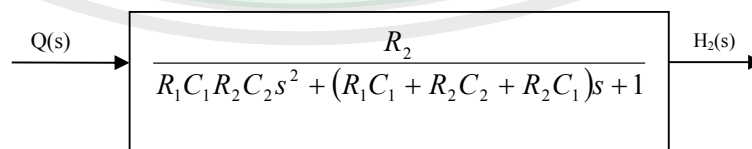
$$\frac{h_2}{R_2} = q_2 \quad (2.19)$$

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (2.20)$$

Jika  $Q$  merupakan masukan dan  $H_2$  adalah keluaran, maka fungsi alih sistem adalah

$$\frac{H_2(s)}{Q(s)} = \frac{R_2}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1)s + 1} \quad (2.21)$$

Diagram blok untuk sistem kontrol permukaan cairan dengan interaksi adalah sebagai berikut (Ogata, 1996, 140)



Gambar 2.12 Diagram blok sistem permukaan cairan dengan interaksi



### **BAB III METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Desember 2007 sampai dengan bulan Maret 2008. Sedangkan lokasi penelitian bertempat di Lab Fisika Komputasi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.

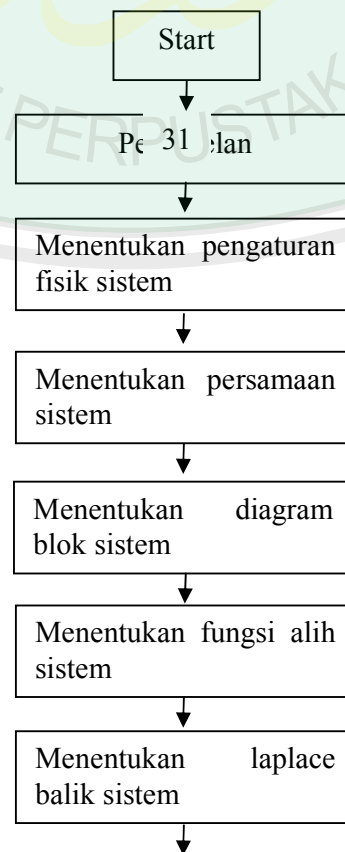
#### **3.2 Alat-alat Penelitian**

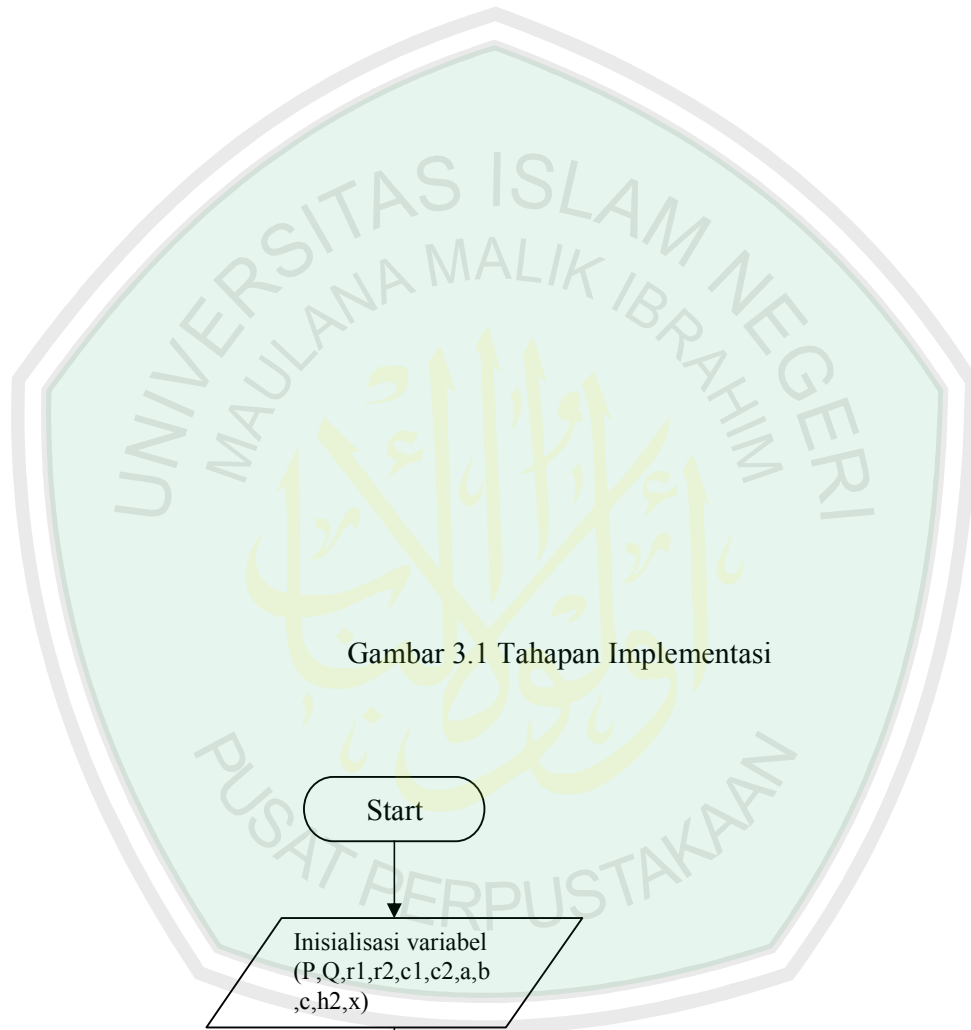
Adapun alat-alat yang akan dipergunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Seperangkat komputer personal pentium 4, CPU 2,66 GHz, Hardisk 80 Gbyte, Memori 246 Mbyte, sistem operasi microsoft windows Xp profesional untuk membuat program dan penulisan laporan
2. Perangkat lunak (*software*) Delphi versi 7.0 untuk membuat program simulasi sistem kontrol.

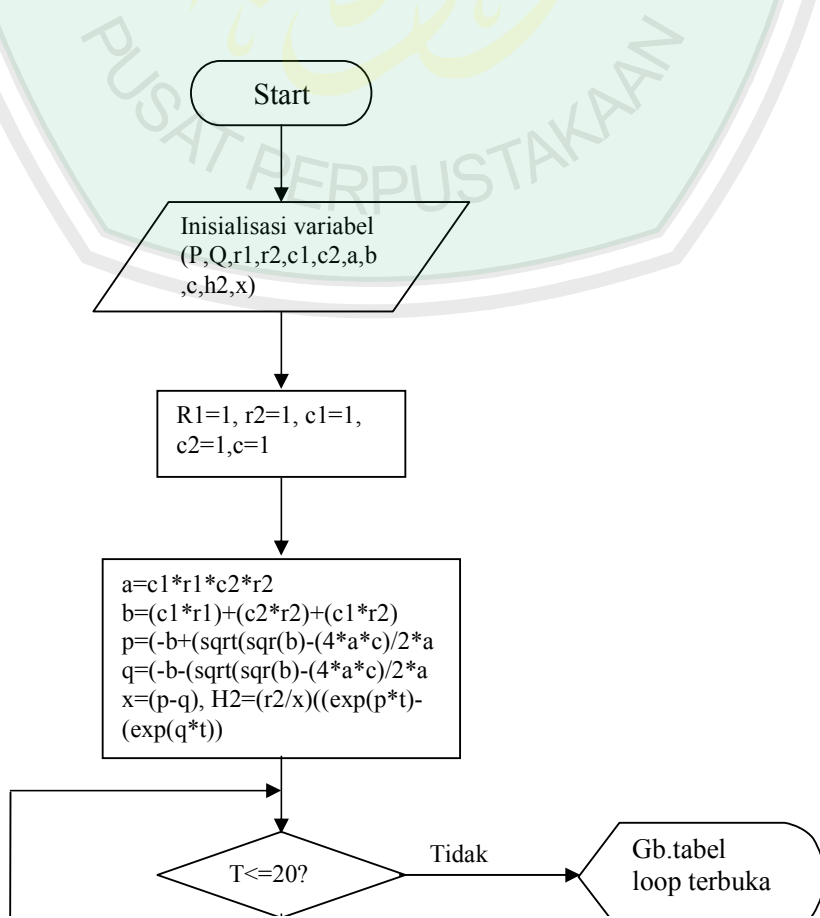
### 3.3 Tahapan Implementasi

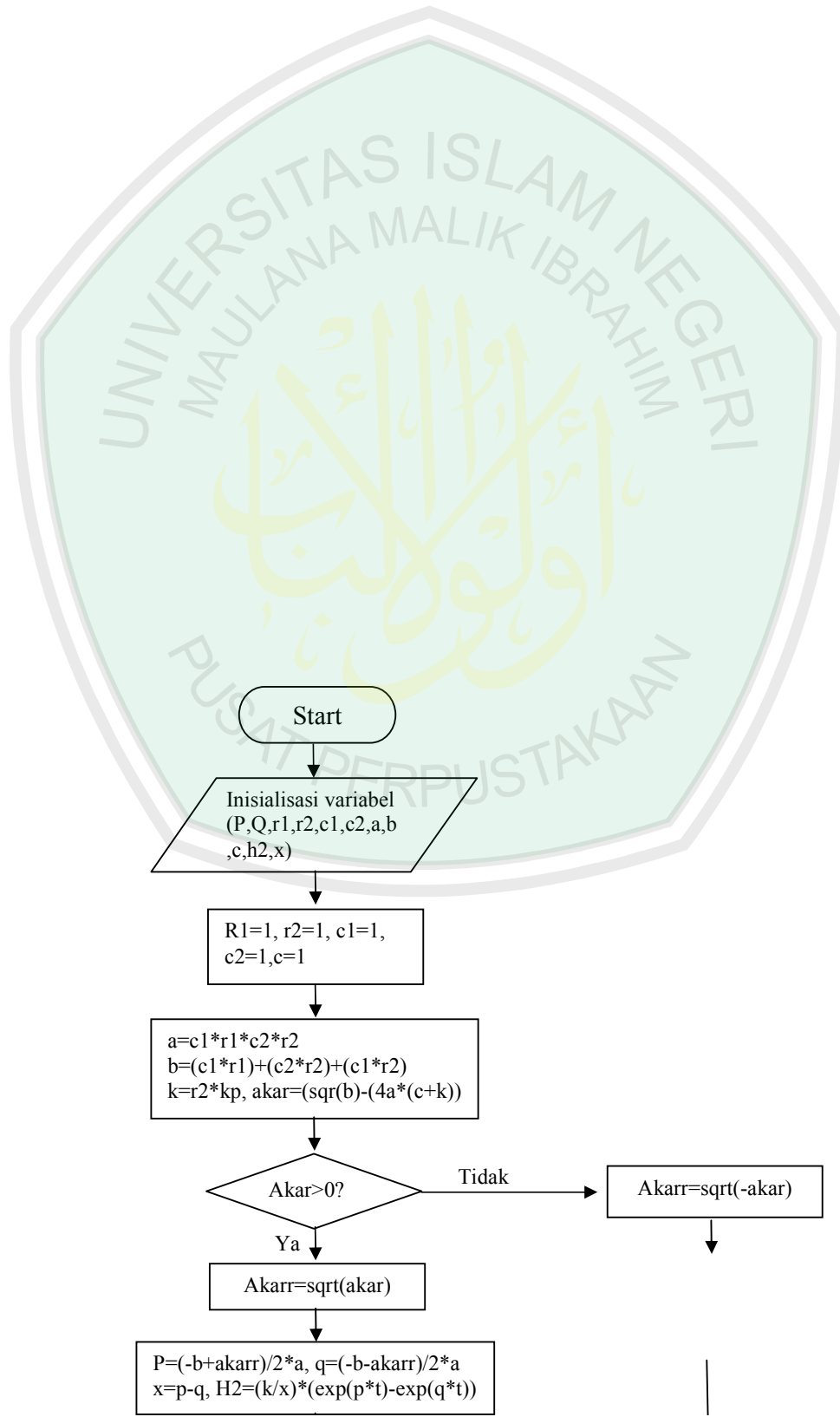
Tahapan implementasi adalah langkah-langkah yang digunakan untuk pembuatan simulasi kestabilan respon transient sistem tangki air dengan Delphi. Skema tahapan implementasi dapat dilihat pada gambar 3.1, sedangkan *flowchart* program simulasi oleh Delphi dapat dilihat pada gambar 3.2, sampai 3.5.





Gambar 3.1 Tahapan Implementasi

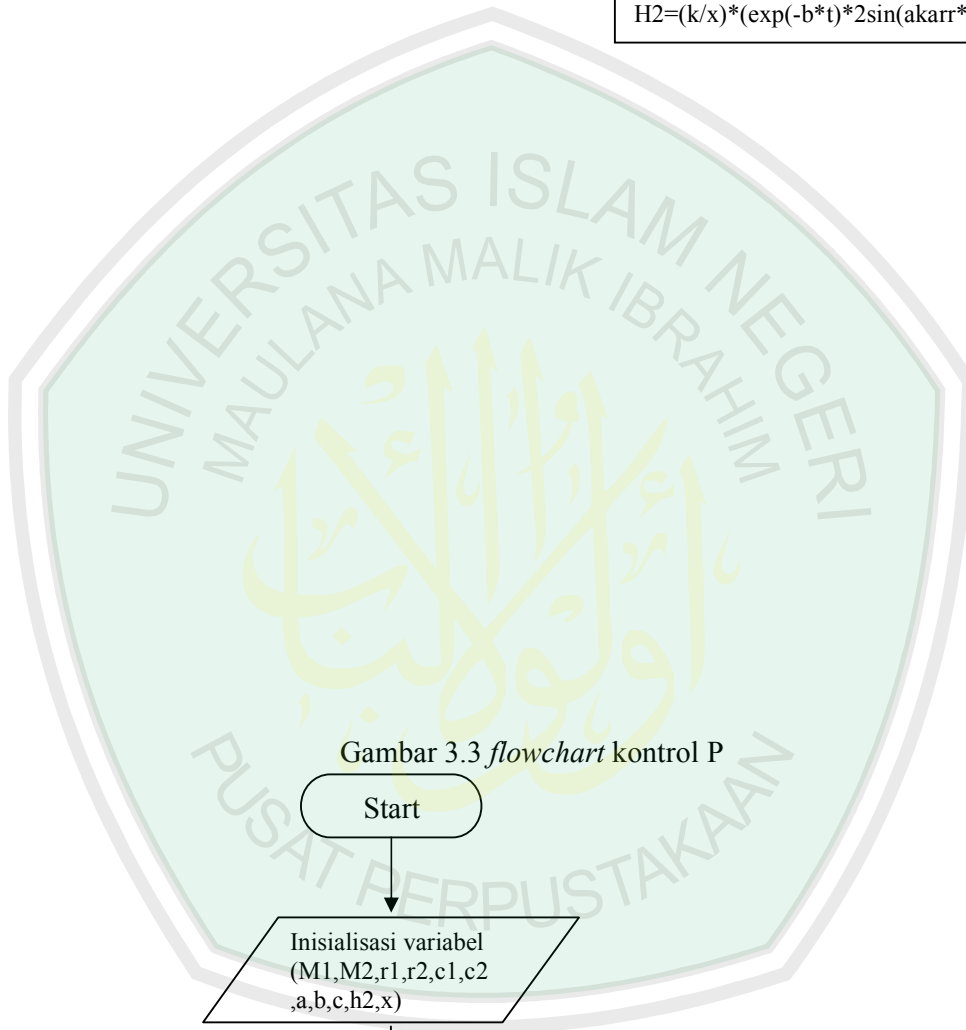




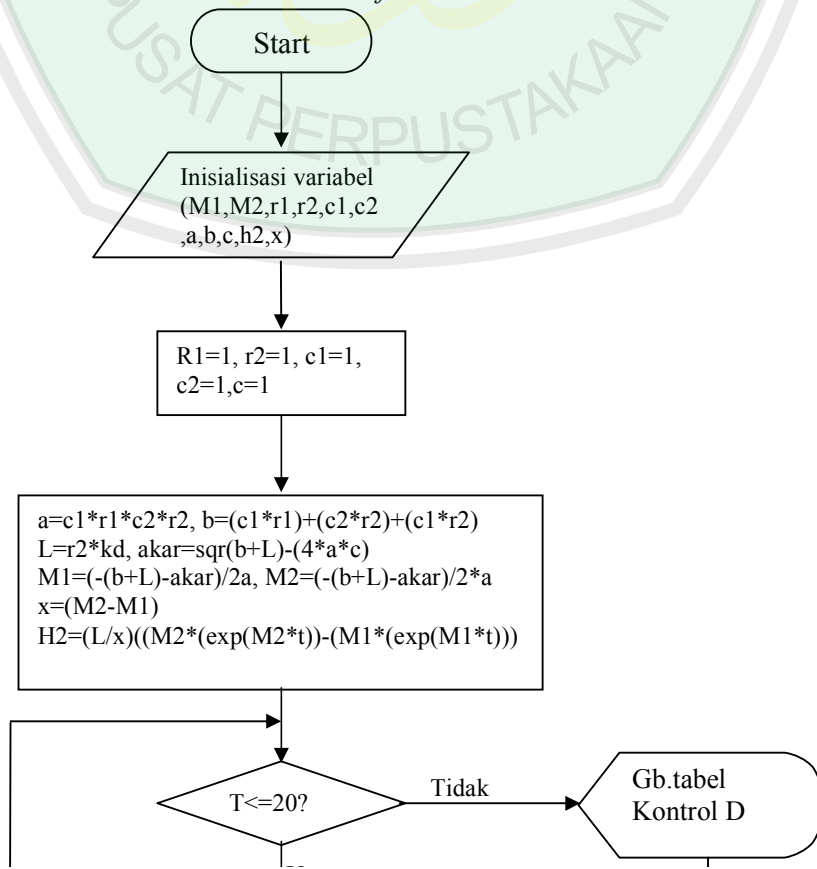
$$P = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad q = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = p - q,$$

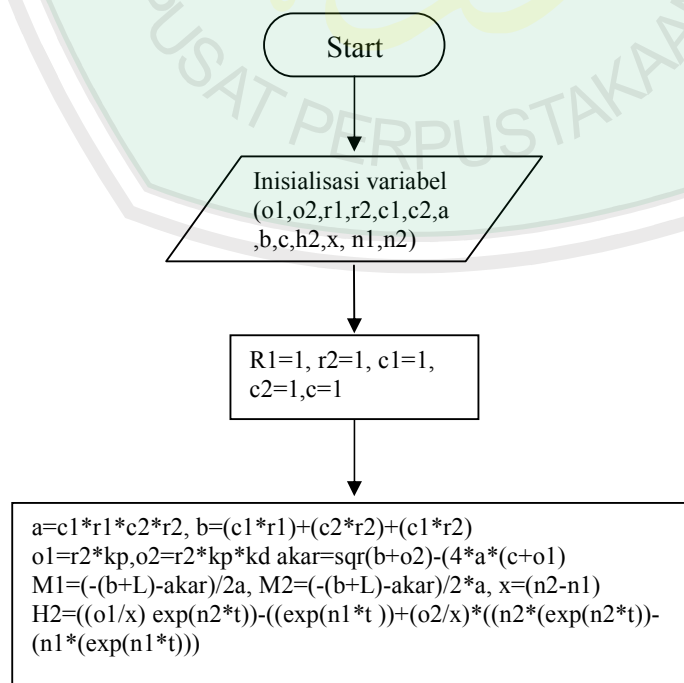
$$H_2 = \frac{k}{x} * (\exp(-b^*t) * 2 \sin(\sqrt{b^2 - 4ac} * t))$$

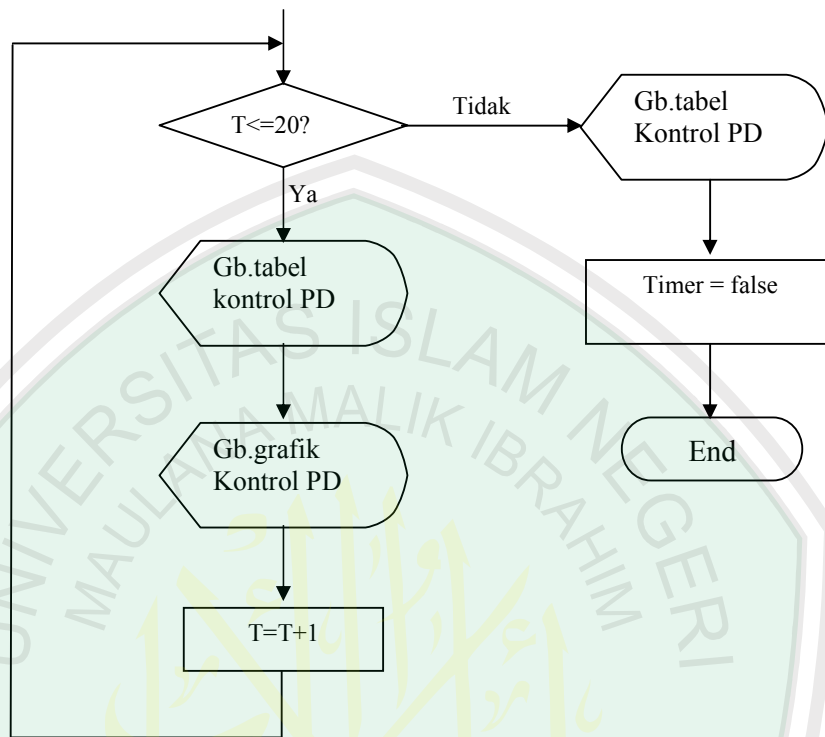


Gambar 3.3 flowchart kontrol P



Gambar 3.4 flowchart kontrol D





Gambar 3.5 *flowchart* kontrol PD

### 3.3.1 Pemodelan

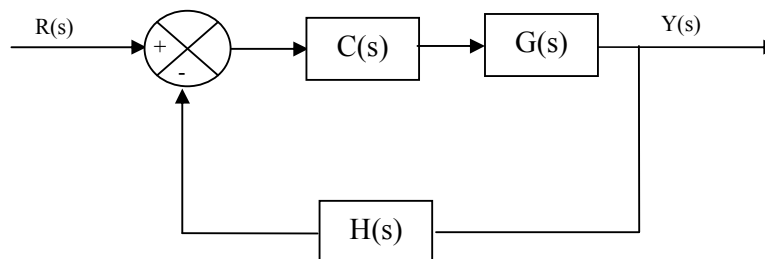
Pemodelan merupakan proses pembuatan model matematika dari suatu sistem fisis dengan menelaah dan menganalisis karakter dinamika sistemnya. Dalam analisis ini yang penting ditentukan adalah hubungan antara besaran-besaran/ variable sistem atau hubungan antara keluaran dan masukan (fungsi alih) yang dapat menunjukkan karakteristik dari pada sistem tersebut. Sedangkan model matematika dari sistem dinamika didefinisikan sebagai sejumlah persamaan yang menggambarkan dinamika dari sistem tersebut secara tepat. Dinamika sistem tersebut dijelaskan dalam bentuk persamaan differensial, yang

selanjutnya diubah dalam bentuk transformasi laplace (domain frekuensi) dan diubah dalam bentuk fungsi alih. Setelah diketahui fungsi alih sistem maka langkah berikutnya adalah menentukan laplace balik (invers laplace) sistem, hal ini dilakukan untuk mengubah dinamika sistem domain frekuensi menjadi dinamika sistem domain waktu. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pemodelan ini adalah :

- a. Menentukan pengaturan fisik sistem tangki air
- b. Menentukan persamaan matematik sistem tangki air
- c. Menentukan diagram blok sistem tangki air
- d. Menentukan fungsi alih sistem tangki air
- e. Menentukan laplace balik (*invers laplace*) sistem tangki air.

### 3.3.2 Diagram Blok Sistem Loop Tertutup

Tinggi cairan atau air (*head*) menghasilkan suatu tekanan yang menimbulkan aliran cairan dari tangki. Tinggi cairan atau air dapat diatur dengan menggunakan pengontrol. Ilustrasi sistem pengontrol tinggi cairan dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Diagram blok loop tertutup

Dimana  $G(s)$  adalah fungsi alih sistem,  $H(s)$  adalah fungsi alih umpan balik,  $C(s)$  adalah fungsi alih kontrol,  $R(s)$  adalah masukan loop tertutup dan  $Y(s)$  adalah keluaran loop tertutup. Fungsi alih sistem loop tertutup pada gambar 3.6 adalah

$$Y(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)H(s)} R(s) \quad (3.1)$$

Dari gambar 3.7 dapat dilihat prinsip kerja pengontrol yang berguna untuk mempertahankan kondisi ketinggian cairan, yang mana akibat ketinggian cairan ini akan menghasilkan suatu tekanan yang menimbulkan aliran cairan dari tangki. Pengontrol dapat digunakan untuk mempertahankan kondisi ketinggian cairan, dan loop tertutup umpan balik akan membantu pengontrol untuk menentukan nilai respon yang dihasilkan input  $R$  (masukan) maupun output  $Y$  (keluaran), sehingga hasil keluaran sistem sesuai dengan yang diharapkan. Adapun keluaran merupakan ketinggian cairan dari sistem tangki air yang berbasis pada simulasi komputer dengan *software* Delphi. Keluaran sistem akan diberikan kembali sebagai umpan balik kepada pengontrol.

### 3.3.3 Penalaan Parameter Kontrol / Tahap Pengujian

Setelah pembuatan simulasi pada program delphi, maka tahap berikutnya adalah tahap pengujian dan penalaan parameter kontrol P, D, dan PD. Pada tahap pengujian ini, peneliti menguji sistem dengan cara mensimulasikan sistem

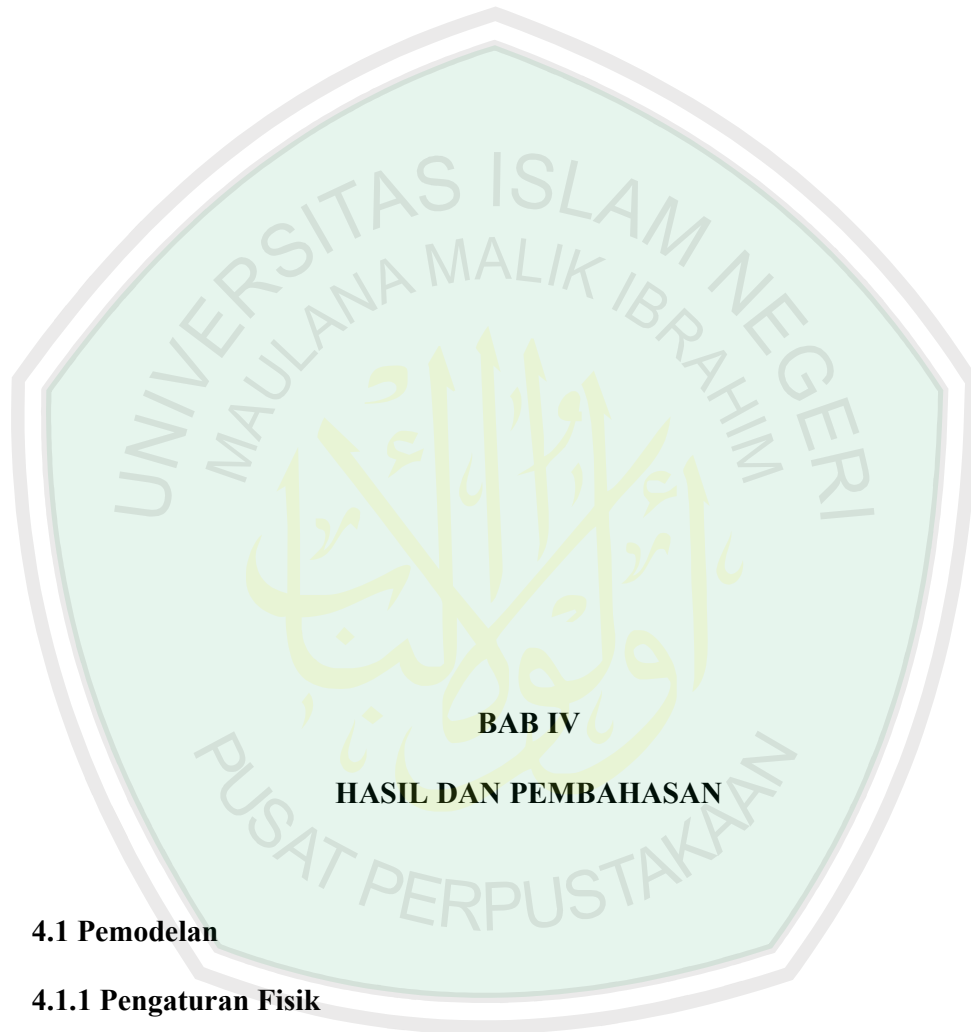
permukaan cairan sebelum diberikan pengontrol (*open loop*), Untuk mengetahui hasil respon transien sistem sebelum diberi kontrol.

Setelah tahu respon transien sistem permukaan cairan yang telah dibuat, maka tahap berikutnya adalah tahap penalaan parameter kontrol P, D dan PD. Pada tahap ini peneliti menggunakan metode kurva reaksi dalam metode Zigler-Nichols. Penggunaan metode ini dimaksudkan untuk mempermudah peneliti dalam penalaan parameter.

#### **3.4. Tahap Analisis**

Tahap yang paling penting dalam penelitian ini adalah tahap analisis. Analisis dilakukan dengan melihat gambar simulasi serta gambar grafik respon transien yang telah dibuat untuk mengetahui karakteristik sistem permukaan cairan, serta parameter-parameter yang tepat untuk digunakan sebagai pengontrol.

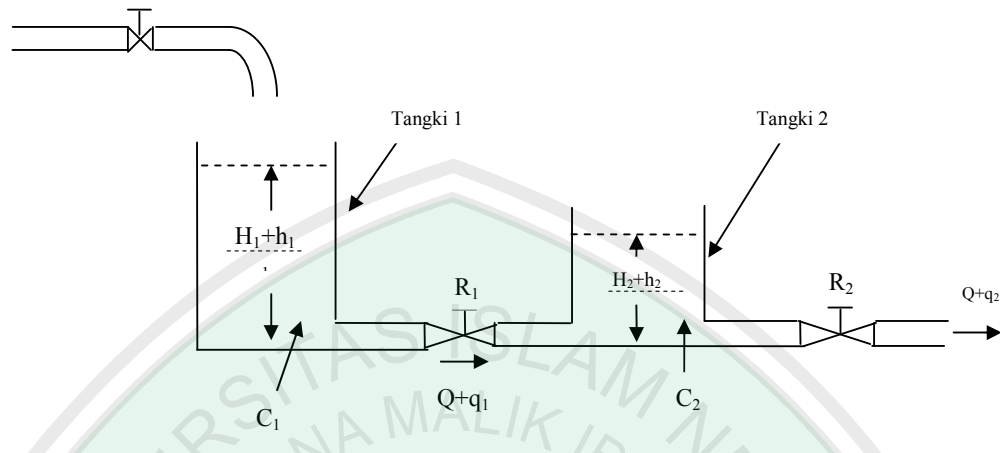
Analisis respon sistem meliputi tingkat kecepatan respon transien untuk mencapai keadaan tunak, lonjakan (*overshoot*) terhadap perubahan sinyal rujukan, kinerja peredaman gangguan dan variasi parameter sistem atau perubahan kondisi lingkungan operasi. Langkah selanjutnya, hasil analisis tersebut dibahas berdasarkan karakteristik-karakteristik yang ada untuk kemudian ditarik suatu kesimpulan.



#### **4.1 Pemodelan**

##### **4.1.1 Pengaturan Fisik**

Plant dalam sistem ini adalah dua buah tangki yang saling berinteraksi, seperti ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 sistem permukaan cairan dengan interaksi

Dimana :

$Q$  = laju keadaan tunak (sebelum ada perubahan), (m/s)

$q$  = Penyimpangan kecil laju aliran masuk pada keadaan tunak, (m/s)

$q_1$  = Penyimpangan kecil laju aliran keluar tangki 1 keadaan tunak, (m/s)

$q_2$  = Penyimpangan kecil laju aliran keluar tangki 2 keadaan tunak, (m/s)

$H$  = Tinggi permukaan zat cair pada keadaan tunak, (m)

$h$  = Penyimpangan kecil permukaan zat cair pada keadaan tunak, (m)

$R$  = Resistensi, (s/m<sup>2</sup>)

$C$  = Kapasitansi, (m<sup>2</sup>)

#### 4.1.2 Persamaan Sistem

Berdasarkan gambar 4.1, maka persamaan sistem fisis dapat diturunkan sebagai berikut :

$$\frac{h_1 - h_2}{R_1} = q_1 \quad (4.1)$$

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} = q - q_1 \quad (4.2)$$

$$\frac{h_2}{R_2} = q_2 \quad (4.3)$$

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (4.4)$$

Substitusi persamaan 4.1 kedalam persamaan 4.2, maka diperoleh

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} = q - \frac{h_1 - h_2}{R_1}$$

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} = \frac{qR_1 - (h_1 - h_2)}{R_1}$$

$$C_1 R_1 \frac{dh_1}{dt} = qR_1 - (h_1 - h_2)$$

$$C_1 R_1 \frac{dh_1}{dt} + h_1 = qR_1 + h_2 \quad (4.5)$$

Substitusi persamaan 4.3 kedalam persamaan 4.4, maka diperoleh

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - \frac{h_2}{R_2}$$

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = \frac{q_1 R_2 - h_2}{R_2}$$

$$C_2 R_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 R_2 - h_2$$

$$C_2 R_2 \frac{dh_2}{dt} + h_2 = q_1 R_2 \quad (4.6)$$

#### 4.1.3 Fungsi Alih Sistem

Dengan menggunakan transformasi laplace persamaan 4.5 maka dapat diekspresikan dalam suku s (domain frekuensi)

$$LC_1R_1 \frac{dh_1}{dt} + Lh_1 = LqR_1 + Lh_2$$

$$C_1R_1sH_1(s) + H_1s = R_1Qs + H_2s$$

$$(C_1R_1s + 1)H_1s = R_1Q(s) + H_2s \quad (4.7)$$

$$H_1s = \frac{R_1Qs + H_2s}{C_1R_1s + 1} \quad (4.8)$$

Dengan menggunakan transformasi laplace persamaan 4.6 maka dapat diekspresikan dalam suku s

$$LC_2R_2 \frac{dh_2}{dt} + Lh_2 = Lq_1R_2$$

$$C_2R_2sH_2s + H_2s = R_2Q_1s \quad (4.9)$$

Dengan mensubstitusi persamaan 4.1 kedalam persamaan 4.9 maka diperoleh

$$C_2R_2sH_2s + H_2s = R_2 \left( \frac{H_1s - H_2s}{R_1} \right)$$

$$(C_2R_2s + 1)H_2sR_1 = R_2(H_1s - H_2s)$$

$$(C_2R_2s + 1)H_2sR_1 + H_2sR_2 = H_1sR_2 \quad (4.10)$$

Substitusi persamaan 4.8 kedalam persamaan 4.10

$$(C_2R_2s + 1)H_2sR_1 + H_2sR_2 = R_2 \left( \frac{R_1Qs + H_2s}{C_1R_1s + 1} \right)$$

$$((C_2R_2s + 1)H_2sR_1 + H_2sR_2)(C_1R_1s + 1) = R_2(R_1Qs + H_2s)$$

$$((C_2R_2sH_2sR_1) + (H_2sR_1) + H_2sR_2)C_1R_1s + 1 = R_2(R_1Qs + H_2s)$$

$$C_1 R_1 s H_2 s R_1 C_2 R_2 s + C_1 R_1 s H_2 s R_1 + C_1 R_1 s H_2 s R_2 + C_2 R_2 s H_2 s R_1 + H_2 s R_1 + H_2 s R_2 = R_2 (R_1 Q s + H_2 s)$$

$$C_1 R_1 s H_2 s R_1 C_2 R_2 s + C_1 R_1 s H_2 s R_1 + C_1 R_1 s H_2 s R_2 + C_2 R_2 s H_2 s R_1 + H_2 s R_1 + H_2 s R_2 - H_2 s R_2 = R_2 (R_1 Q s)$$

Jika dikalikan  $\frac{1}{R_1}$ , maka menjadi

$$C_1 R_1 s H_2 s C_2 R_2 s + C_1 R_1 s H_2 s + C_1 R_2 s H_2 s + C_2 R_2 s H_2 s + H_2 s = R_2 Q s$$

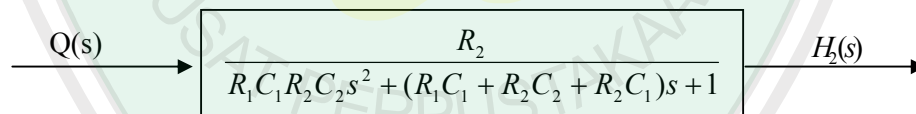
$$(C_1 R_1 C_2 R_2 s^2 + (C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_2) s + 1) H_2 s = R_2 Q s$$

Jika  $H_2(s)$  dianggap sebagai keluaran dan  $Qs$  sebagai masukan maka fungsi alih sistem tangki air dengan interaksi menjadi :

$$\frac{H_2(s)}{Q(s)} = \frac{R_2}{(C_1 R_1 C_2 R_2 s^2 + (C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_2) s + 1)} \quad (4.11)$$

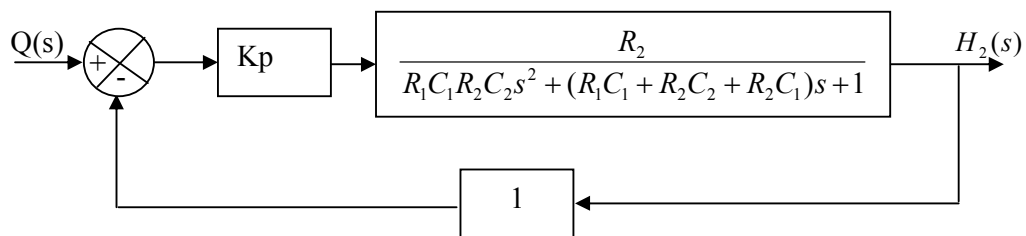
#### 4.1.4 Diagram Blok Loop Terbuka Dan Loop Tertutup

##### a. Diagram Blok Loop Terbuka

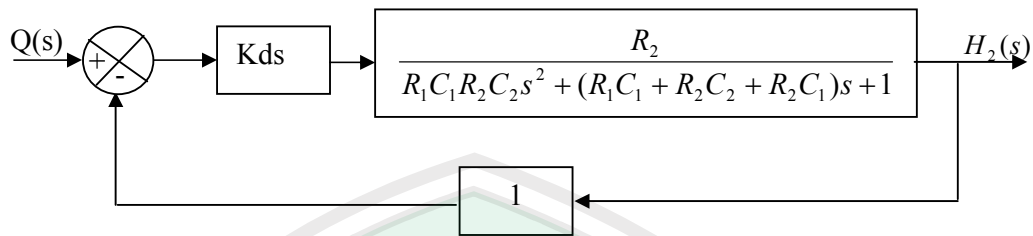


Gambar 4.2 Diagram Blok sistem Loop Terbuka

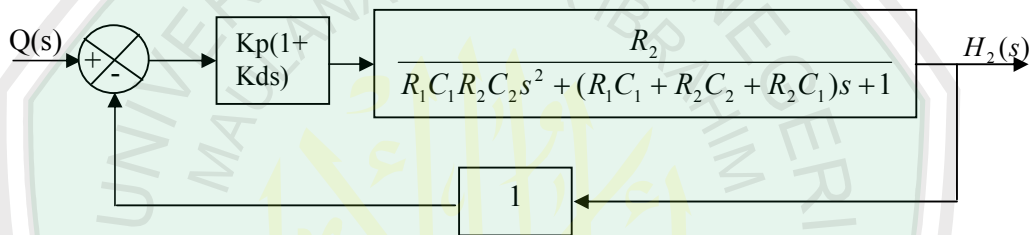
##### b. Diagram Blok Loop Tertutup



Gambar 4.3 Diagram blok loop tertutup pengontrol P



Gambar 4.4. diagram blok loop tertutup pengontrol D



Gambar 4.5. diagram blok loop tertutup pengontrol P.D

Keterangan :  $K_p$ ,  $K_{ds}$ ,  $K_p(1+K_{ds})$  adalah pengontrol

$H_2(s)$  adalah keluaran dan  $Q(s)$  adalah masukan

$\frac{R_2}{R_1C_1R_2C_2s^2 + (R_1C_1 + R_2C_2 + R_2C_1)s + 1}$  adalah plant

#### 4.1.5 Transformasi Laplace Balik Dan Representasi Program Delphi

##### a. Loop Terbuka (*Open Loop*)

Dalam domain waktu (fungsi  $t$ ), solusi dapat diperoleh melalui transformasi laplace balik (*invers laplace*) yaitu dengan menggunakan tabel transformasi. Untuk tujuan ini penyebut dalam persamaan 4.12 dapat diuraikan dalam akar-akarnya.

Dengan memisalkan  $R_1C_1 R_2C_2 = A$ , dan  $(R_1C_1 + R_2C_2 + R_2C_1) = B$ , Maka persamaan 4.11 menjadi

$$H_2(s) = \frac{R_2}{As^2 + Bs + 1} \quad (4.12)$$

Dengan menggunakan rumus ABC, maka akar-akar dari persamaan 4.12 dapat diperoleh sebagai berikut :

$$X_1 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}, \quad \text{dan} \quad X_2 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}$$

sehingga

$$H_2(s) = \frac{a}{\left(s - \left(\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}\right)\right)} + \frac{b}{\left(s - \left(\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}\right)\right)}$$

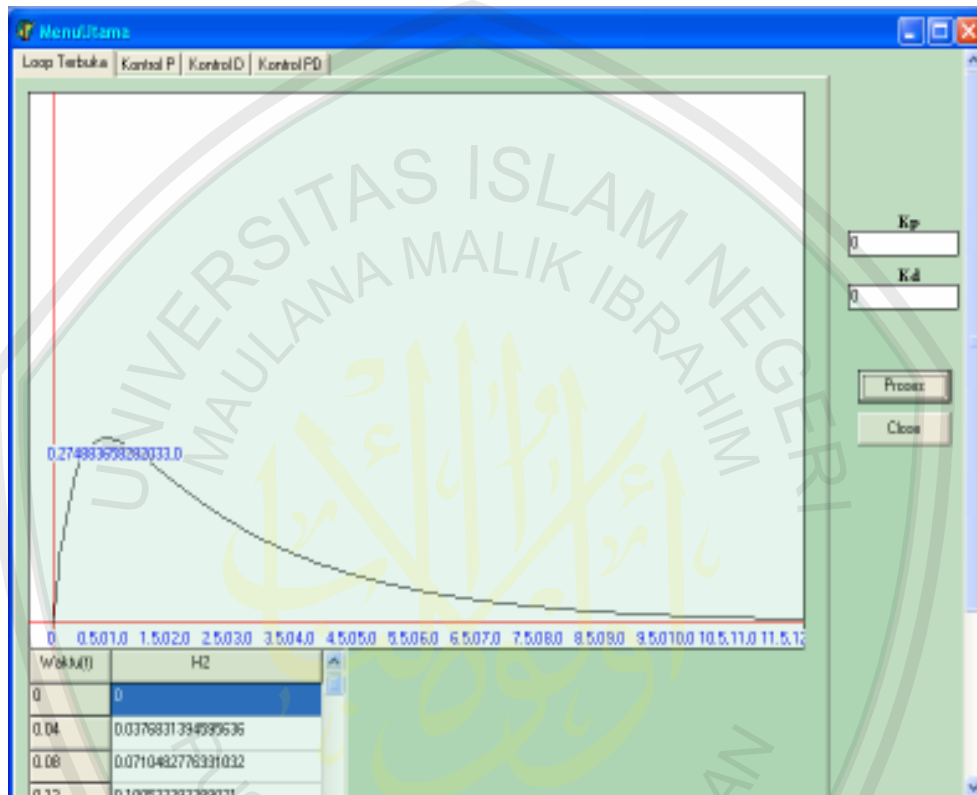
Dimana a dan b merupakan bilangan-bilangan konstan yang akan ditentukan dari pengubahan bentuk

$$H_2s = \frac{R_2}{\left(s - \left(\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}\right)\right)\left(s - \left(\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}\right)\right)} \quad (4.13)$$

Dengan membandingkan bentuk persamaan 4.13 terhadap tabel transformasi laplace, maka dapat ditentukan fungsi alih sistem dalam domain waktu ( $h_2(t)$ ), yaitu :

$$h_2(t) = \frac{R_2}{\left(\left(\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}\right)\right) - \left(\left(\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}\right)\right)} e^{\left(\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}\right)t} - e^{\left(\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}\right)t} \quad (4.14)$$

Dengan meletakkan persamaan 4.14 kedalam program Delphi, diperoleh hasil grafik respon transient *open loop*(loop terbuka) seperti tertera pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Grafik respon transient *open loop* (loop terbuka)

Respon transient *open loop* (loop terbuka) pada sistem dua tangki air yang berinteraksi menunjukkan bahwa tangki ini masih kurang sempurna, hal ini dikarenakan pada sistem ini masih membutuhkan waktu penetapan (settling time) yang lama untuk mencapai keadaan tunak atau stabil, yaitu 14,5 s. Dan memiliki *overshoot* yang besar 0.27 seperti terlihat pada gambar 4.6, sehingga sistem ini kurang praktis. Desain yang diinginkan adalah ketika air mengalir dari kran, tangki air harus berkombinasi secepat mungkin dan sistem mencapai keadaan

tunak atau kestabilan dengan waktu yang cepat. Oleh karena itu perlu adanya pengontrol yang sesuai untuk mengontrol sistem tersebut, sehingga tinggi permukaan air dapat konstan dan seimbang dengan overshoot sekecil mungkin.

### b. Loop Tertutup Dengan Kontrol Proporsional

Dengan memasukkan persamaan 2.9 (persamaan kontrol P) pada persamaan 4.11 (persamaan fungsi alih *open loop*) maka dapat diperoleh rumus baru loop tertutup dengan kontrol proporsional sebagai berikut:

$$H_2(s) = \frac{R_2 K_p}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1)s + (1 + R_2 K_p)}$$

Dengan memisalkan  $R_2 K_p = k$ ,  $R_1 C_1 R_2 C_2 = A$ , dan  $(R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) = B$ ,

Maka,

$$H_2(s) = \frac{k}{As^2 + Bs + 1 + k} \quad (4.15)$$

Dengan menggunakan rumus ABC, maka dapat diperoleh akar-akar dari persamaan 4.15, sebagai berikut :

$$X_1 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A}, \quad \text{dan} \quad X_2 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A}$$

Sehingga,

$$H_2(s) = \frac{a}{\left( s - \left( \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A} \right) \right)} + \frac{b}{\left( s - \left( \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A} \right) \right)}$$

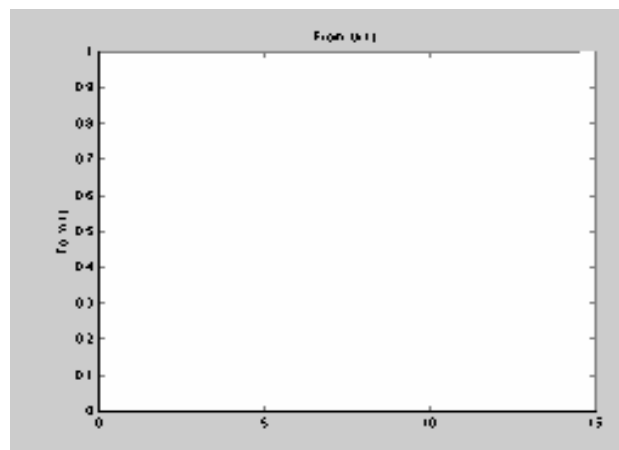
Dimana a dan b merupakan bilangan-bilangan konstan yang akan ditentukan dari perubahan bentuk

$$H_2(s) = \frac{k}{\left( s - \left( \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A} \right) \right) \left( s - \left( \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A} \right) \right)} \quad (4.16)$$

Dengan membandingkan bentuk persamaan 4.16 terhadap tabel transformasi laplace, maka dapat ditentukan fungsi alih sistem dengan pengontrol proporsional (P) dalam domain waktu ( $h_2(t)$ ), yaitu :

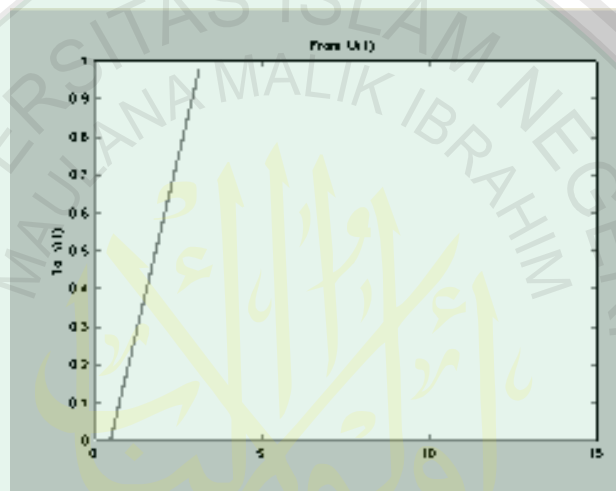
$$h_2(t) = \frac{k}{\left( \left( \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A} \right) \right) - \left( \left( \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A} \right) \right)} e^{\left( \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A} \right) t} - e^{\left( \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A(1+k)}}{2A} \right) t} \quad (4.17)$$

Representasi dengan program delphi kontrol P dapat diperoleh dengan memasukkan persamaan 4.17 kedalam program. Sedangkan Penalaan parameter dilakukan dengan menggunakan metode kurva reaksi dalam metode Ziegler-Nichols, hal ini dimaksudkan agar mempermudah dalam penalaan. Pada penalaan dengan metode ini, mula-mula sistem disimulasikan dengan loop terbuka, untuk mengetahui hasil respon transient sistem. Simulasi loop terbuka sistem dua tangki yang saling berinteraksi menghasilkan respon transien berbentuk kurva S, seperti terlihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Respon transient loop terbuka (simulasi dengan program matlab)

Dengan menarik garis lurus pada titik perubahan kurva, maka di dapat nilai konstanta waktu tunda (L) sebesar 0,5 s dan konstanta waktu (T) sebesar 2,0s

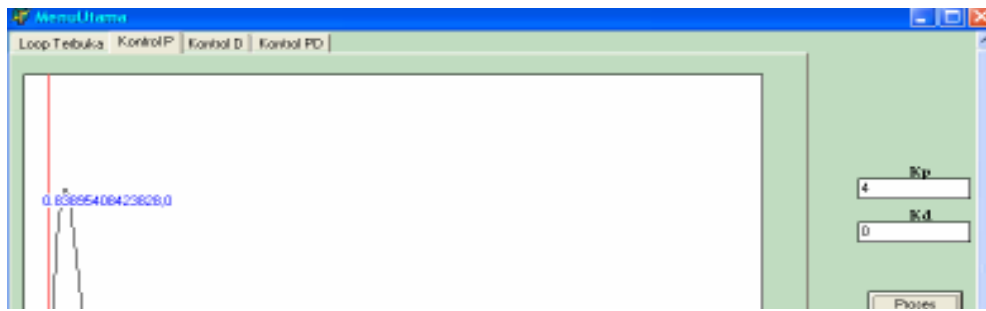


Gambar 4.8 Penentuan nilai konstanta waktu tunda (L) dan Konstanta Waktu (T)

Setelah mengetahui nilai konstanta waktu tunda dan konstanta waktu, maka penalaan nilai kontroler proporsional dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols dapat ditentukan dengan menggunakan rumus pada tabel 2.1, sehingga diperoleh nilai kontroler proporsional sebagai berikut :

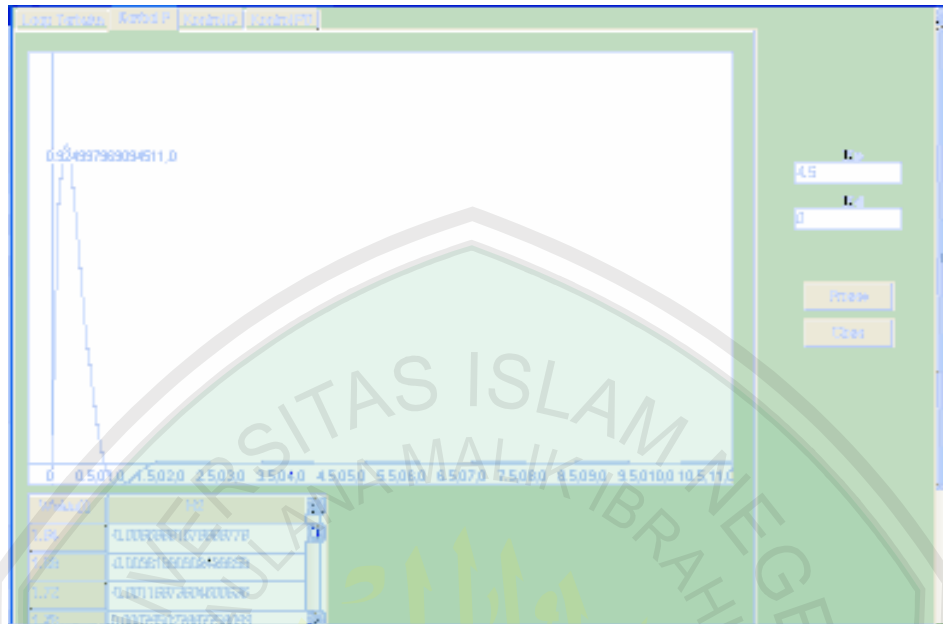
$$K_p = \frac{T}{L}, \quad K_p = \frac{2,0}{0,5}, \quad K_p = 4$$

Dengan memasukkan nilai  $K_p$  yang diperoleh dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols maka diperoleh respon transien sebagai berikut :



Gambar 4.9 Respon transient kontrol P

Berdasarkan gambar 4.9 diperoleh data yaitu  $settling\ time = 0,88s$   $overshoot = 0,83$  artinya bahwa ada perbaikan pada  $settling\ time$  (waktu penetapan), respon lebih cepat dari sebelumnya, akan tetapi respon transiennya menjadi lebih buruk dikarenakan overshootnya yang terlalu besar. Bila nilai  $K_p$  diperbesar (lebih dari 4) maka akan terjadi lonjakan overshoot yang lebih tinggi dan mengalami osilasi. Terjadinya osilasi akan mengakibatkan  $settling\ time$  yang lebih lama. sebagai pembandingan, untuk  $K_p = 4,5$  diperoleh grafik seperti pada gambar 4.10. Sebaliknya jika nilai  $K_p$  diperkecil (kurang dari 4) menyebabkan  $overshoot$  yang tidak terlalu besar dan tidak terjadi osilasi serta mengakibatkan  $settling\ time$  yang lebih lama. Kontrol proporsional bekerja dengan cara mengalikan antara konstanta proporsional dengan masukannya. Data hasil percobaan dengan menggunakan  $K_p$  1 sampai 4,5 dapat dilihat pada halaman lampiran.



Gambar 4.10 hasil respon transien dengan menggunakan Kp 4,5

### c. Loop Tertutup Dengan Kontrol Derivatif

Dengan memasukkan persamaan 2.10 (persamaan kontrol derivatif) pada persamaan 4.11, maka dapat diperoleh rumus baru loop tertutup dengan kontrol derivatif, yaitu:

$$H_2(s) = \frac{R_2 k d s}{R_1 C_1 R_2 C_2 S^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) s + 1 + R_2 k d s}$$

Dengan memisalkan  $R_2 k d = L$ ,  $R_1 C_1 R_2 C_2 = A$ , dan  $(R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) = B$ ,

$$H_2(s) = \frac{L s}{A s^2 + (B + L) s + 1} \quad (4.18)$$

Dengan menggunakan rumus ABC, maka dapat diperoleh akar-akar dari persamaan 4.18, sebagai berikut :

$$X_1 = \frac{-(B + L) - \sqrt{(B + L)^2 - 4A}}{2A}, \text{ dan } X_2 = \frac{-(B + L) + \sqrt{(B + L)^2 - 4A}}{2A}$$

sehingga,

$$H_2(s) = \frac{a}{\left( s - \left( \frac{-(B+L) - \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} \right) \right)} + \frac{b}{\left( s - \left( \frac{-(B+L) + \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} \right) \right)}$$

Dimana a dan b merupakan bilangan-bilangan konstan yang akan ditentukan dari pengubahan bentuk

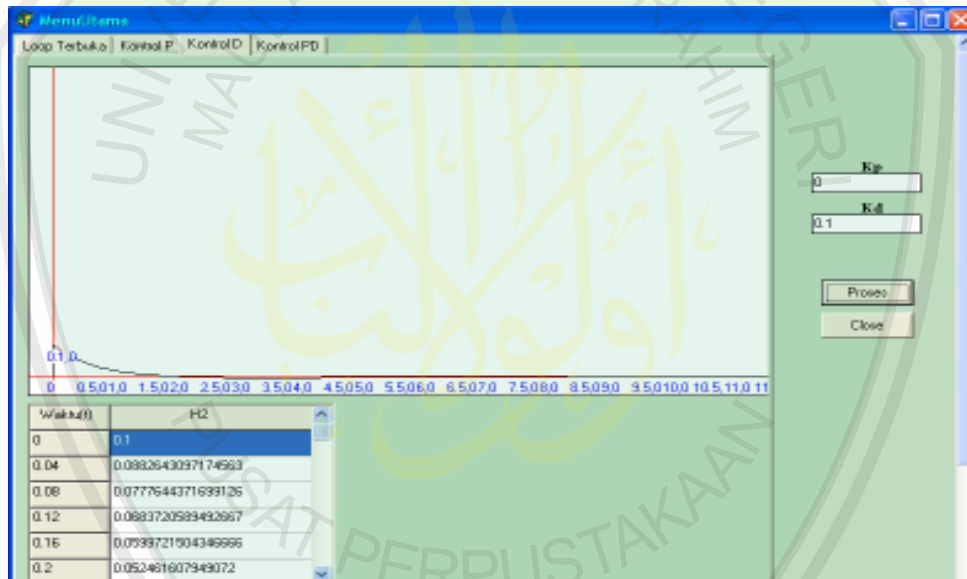
$$H_2(s) = \frac{Ls}{\left( s - \left( \frac{-(B+L) - \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} \right) \right) \left( s - \left( \frac{-(B+L) + \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} \right) \right)} \quad (4.19)$$

Dengan membandingkan bentuk persamaan 4.19 terhadap tabel transformasi laplace, maka dapat ditentukan fungsi alih sistem dengan pengontrol derivatif (D) dalam domain waktu ( $h_2(t)$ ), yaitu :

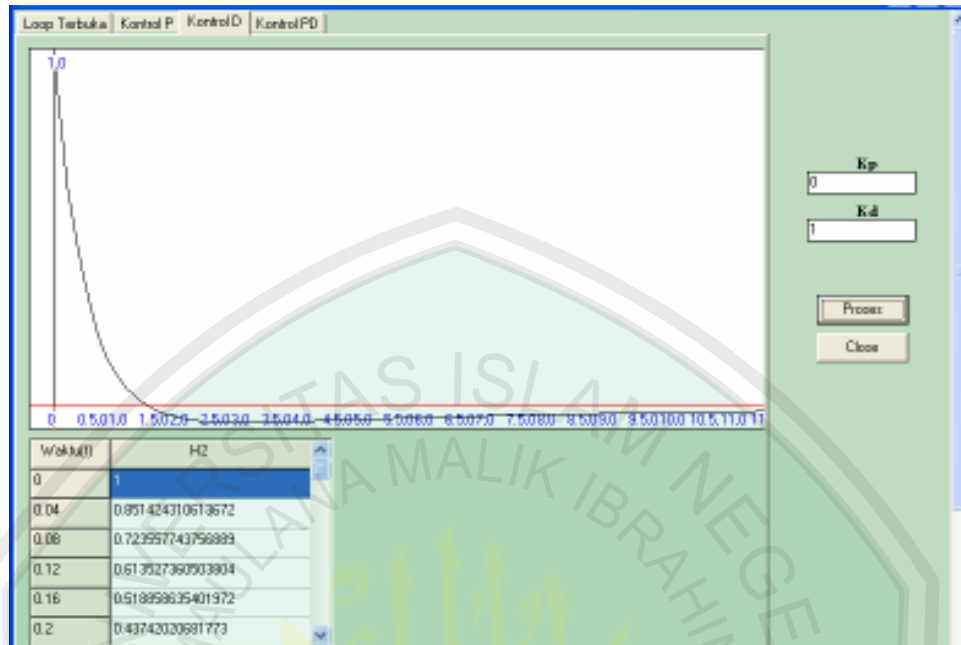
$$h_2(t) = \frac{L}{\left( \left( \frac{-(B+L) + \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} \right) \right) - \left( \left( \frac{-(B+L) - \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} \right) \right)} \left( \left( \frac{-(B+L) + \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} \right) e^{\left( \frac{-(B+L) + \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} t \right)} - \left( \frac{-(B+L) - \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} \right) e^{\left( \frac{-(B+L) - \sqrt{(B+L)^2 - 4A}}{2A} t \right)} \right) \quad (4.20)$$

Pada metode Ziegler-Nichols tidak menyediakan rumus penalaan jika hanya menggunakan kontroler derivatif oleh karena itu penalaan pada kontroler derivative ini menggunakan metode coba-coba. Metode penalaan ini dilakukan sampai 10 kali dengan nilai Kd 0,1 sampai 1,0 (pemberian nilai Kd dari 0,1 - 1,0 dikarenakan ada keterbatasan dari program delphi). Dari penalaan yang telah dilakukan nilai konstanta derivatif (Kd) yang menghasilkan respon transient

paling tepat adalah 0,1. Hal ini dikarenakan dengan nilai  $K_d$  0,1 menghasilkan respon transien yang menunjukkan *settling time* yang lebih cepat dari pada nilai  $K_d$  yang lain, serta *overshoot* yang lebih kecil dari pada nilai  $K_d$  yang lain. Sebagai pembandingan, untuk nilai  $K_d$  1,0 diperoleh kurva hasil respon transient seperti gambar 4.12. Data hasil penalaan kontroler derivative (D) dapat dilihat pada halaman lampiran. Dengan memasukkan persamaan 4.20 kedalam program Delphi dan memberikan nilai  $K_d$ , maka Grafik respon transient dengan kontroler derivatif dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.11 hasil respon transient dengan  $K_d=0,1$



Gambar 4.12 hasil respon transient dengan  $K_d=1,0$

Berdasarkan gambar diatas, maka dapat diperoleh data yaitu *settling time* (waktu penetapan) sebesar 0,24s dan *overshoot* sebesar 0.1 artinya bahwa ada perbaikan respon transient dari yang sebelumnya terbukti dengan adanya *settling time* yang lebih cepat dan *overshoot* yang tereduksi. Kontrol derivatif bekerja dengan cara mendeferensialkan nilai konstanta derivatif yang kemudian dikalikan dengan masukannya.

#### d. Loop Tertutup Dengan Kontrol Proporsional dan Derivatif

Kontrol PD merupakan perpaduan antara pengontrol proporsional dengan pengontrol derivatif. Dengan memasukkan persamaan 2.11 kedalam persamaan 4.11 maka akan diperoleh rumus baru yang merupakan fungsi alih sistem tangki air dengan menggunakan perpaduan pengontrol proporsional dan derivatif.

$$H_2(s) = \frac{R_2kp + R_2kpkds}{R_1C_1R_2C_2S^2 + (R_1C_1 + R_2C_2 + R_2C_1)s + 1 + R_2kp + R_2kpkds}$$

Dengan memisalkan  $R_2kp = O1$  dan  $R_2KpKd = O2$ ,  $R_1C_1 R_2C_2 = A$ , dan  $(R_1C_1 + R_2C_2 + R_2C_1) = B$ , Maka,

$$H_2(s) = \frac{O1 + O2s}{As^2 + (B + O2)s + (1 + O1)} \quad (4.21)$$

Dengan menggunakan rumus ABC, maka dapat diperoleh akar-akar dari persamaan 4.21, sebagai berikut :

$$X_1 = \frac{-(B + O2) - \sqrt{(B + O2)^2 - 4A(1 + O1)}}{2A}, \text{ dan}$$

$$X_2 = \frac{-(B + O2) + \sqrt{(B + O2)^2 - 4A(1 + O1)}}{2A}, \text{ sehingga}$$

$$H_2(s) = \frac{O1}{\left( s - \left( \frac{-(B + O2) - \sqrt{(B + O2)^2 - 4A(1 + O1)}}{2A} \right) \right) \left( s - \left( \frac{-(B + O2) + \sqrt{(B + O2)^2 - 4A(1 + O1)}}{2A} \right) \right)} + \frac{O2s}{\left( s - \left( \frac{-(B + O2) - \sqrt{(B + O2)^2 - 4A(1 + O1)}}{2A} \right) \right) \left( s - \left( \frac{-(B + O2) + \sqrt{(B + O2)^2 - 4A(1 + O1)}}{2A} \right) \right)} \quad (4.22)$$

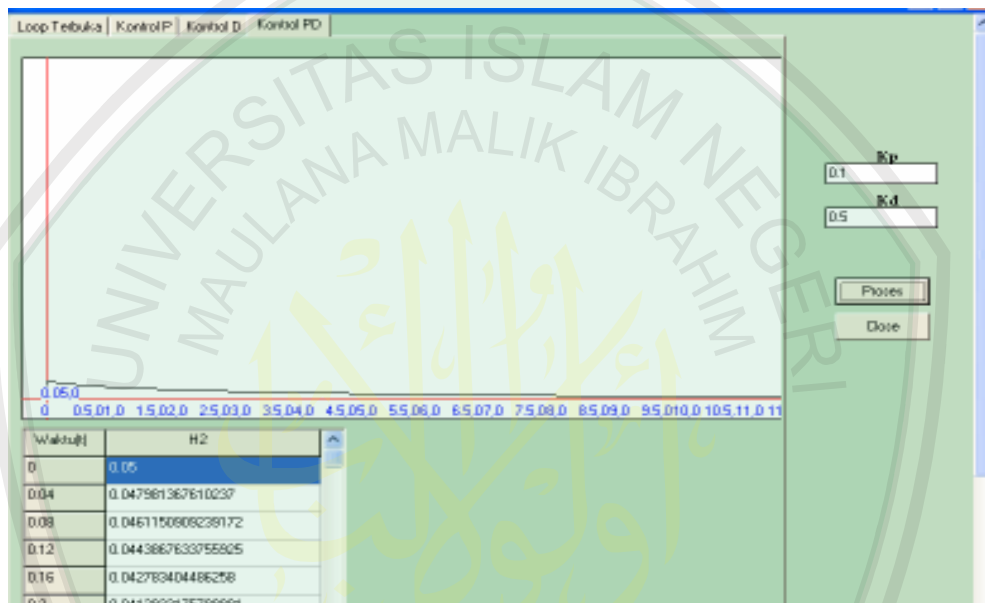
Dengan membandingkan bentuk persamaan 4.22 terhadap tabel transformasi laplace, maka dapat ditentukan fungsi alih sistem perpaduan antara pengontrol proporsional (P) dan derivatif (D) dalam domain waktu ( $h_2(t)$ ), yaitu :

$$\begin{aligned}
h_2(t) = & \frac{O1}{\left( \frac{-(B+O2)+\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right) - \left( \frac{-(B+O2)-\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right)} \\
& e^{\left( \frac{-(B+O2)+\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right) t} - e^{\left( \frac{-(B+O2)-\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right) t} + \\
& \frac{O2}{\left( \frac{-(B+O2)+\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right) - \left( \frac{-(B+O2)-\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right)} \\
& \left( \frac{-(B+O2)+\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right) e^{\left( \frac{-(B+O2)+\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right) t} - \\
& \left( \frac{-(B+O2)-\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right) e^{\left( \frac{-(B+O2)-\sqrt{(B+O2)^2-4A(1+O1)}}{2A} \right) t} \quad (4.23)
\end{aligned}$$

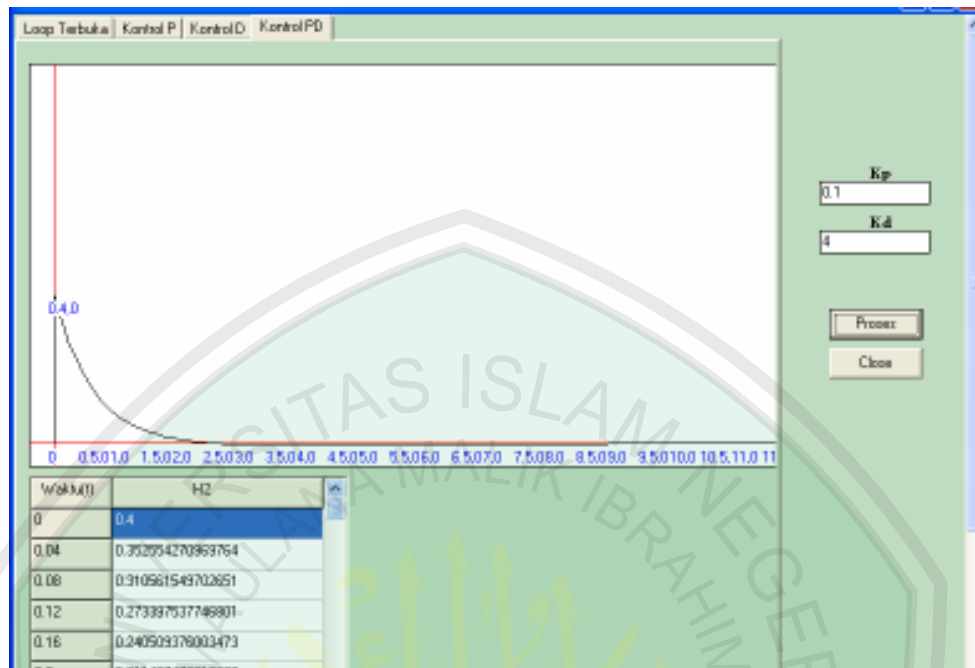
Pengujian berikutnya adalah dengan menggabungkan antara pengontrol Proporsional (P) dan Derivative (D). penggabungan ini diharapkan dapat memberikan respon transient yang lebih baik dari yang sebelumnya. Penalaan pengontrol PD dilakukan dengan metode coba-coba dikarenakan pada metode Ziegler Nichol tidak tersedia rumus penalaan jika menggunakan pengontrol PD. Metode penalaan dilakukan dengan cara memberikan nilai  $K_p = 0,1$  dan  $K_d = 0,5$  sampai  $K_d=4$ . dari penalaan yang telah dilakukan sebanyak 10 kali, diperoleh nilai  $K_p$  dan  $K_d$  yang tepat untuk menghasilkan respon transient paling bagus adalah pada  $K_p=0,1$  dan  $K_d=0,5$  (Sebagai pembandingan pada penalaan  $K_p = 0,1$  dan  $K_d = 4$  diperoleh hasil respon transien seperti pada gambar 4.14). Hal ini dikarenakan respon transient yang dihasilkan menunjukkan overshoot yang tereduksi dan waktu penetapan (settling time) yang cepat untuk mencapai keadaan

tunak. Data hasil penalaan kontroler Proporsional Derivative (PD) dapat dilihat pada halaman lampiran.

Dengan memasukkan persamaan 4.23 kedalam program Delphi dan memberikan nilai  $K_p=0,1$  dan nilai  $K_d$  dari 0,5 maka diperoleh grafik respon transient dengan kontrol PD seperti terlihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Respon transient kontrol PD ( $K_p=0,1$  dan  $K_d=0,5$ )



Gambar 4.14 Respon transient kontrol PD ( $K_p=0,1$  dan  $K_d=4$ )

Berdasarkan gambar di atas diperoleh data yaitu *settling time* = 0,12s dan *overshoot* = 0,05 artinya bahwa penggabungan dari dua pengontrol jenis Proporsional dan Derivative menghasilkan respon transient lebih baik dari pada yang sebelumnya. Hal ini dibuktikan dengan adanya *settling time* yang lebih cepat dan *overshoot* yang kecil.

#### 4.4 Pembahasan (Analisis Respon Transien)

Berdasarkan gambar 4.6 dapat diketahui bahwa, pada saat sistem tangki air tidak diberikan pengontrol (*open loop*) menghasilkan respon transient yang tidak bagus. Hal ini terbukti dengan adanya *settling time* yang luas (untuk mencapai keadaan tunak (*steady state*) dibutuhkan waktu yang sangat lama yaitu sekitar 14,5 s). Selain itu sistem tangki air tanpa pengontrol (*open loop*) ini

memiliki *overshoot* yang besar pula. Jadi sistem tangki air tanpa pengontrol (*open loop*) ini bisa dikatakan kurang praktis dikarenakan hasil respon transien yang kurang bagus.

Untuk memperbaiki respon transien sistem maka perlu adanya suatu pengontrol. Pada pengujian pertama diberikan pengontrol proporsional (P), yang mana pengontrol jenis ini memiliki beberapa kriteria diantaranya jika nilai konstanta proporsional ( $K_p$ ) kecil, maka usaha koreksi yang dilakukan oleh pengontrol juga kecil sehingga tanggapannya menjadi lambat dan makin besar nilai  $K_p$  maka tanggapan yang dihasilkan semakin cepat. Akan tetapi jika nilai  $K_p$  yang diberikan terlalu besar, maka akan menghasilkan tanggapan yang berisolasi. Pemberian nilai konstanta  $K_p$  didasarkan pada metode Ziegler-Nichols. Dengan menggunakan metode ini didapat nilai  $K_p$  sebesar 4. Respon transien dengan nilai  $K_p = 4$  dapat dilihat pada gambar 4.9. dari gambar 4.9 dapat diketahui bahwa sudah ada perbaikan respon transien dari yang sebelumnya, terbukti dengan adanya *settling time* yang lebih cepat dari pada sebelumnya. Hal ini dikarenakan kontrol proporsional bekerja dengan cara mengalikan antara konstanta proporsional dengan masukannya. Akan tetapi respon transien yang dihasilkan tidak terlalu bagus dikarenakan adanya lonjakan *overshoot* hingga 0,88. *Settling time* yang cepat diakibatkan adanya penambahan nilai  $K_p$  yang besar, karena semakin besar nilai  $K_p$  akan menghasilkan tanggapan yang cepat. Disisi lain, penambahan nilai  $K_p$  akan mengakibatkan adanya lonjakan *overshoot* dan juga osilasi. Oleh karena itu pemberian nilai  $K_p$  harus sesuai. Sistem ini masih kurang sempurna dan kurang memuaskan dikarenakan sistem ini masih membutuhkan

*settling time* yang agak lama untuk mencapai keadaan tunak dan juga overshoot yang tinggi.

Pada pengujian berikutnya sistem diberikan pengontrol derivatif. Pengontrol jenis ini biasanya dimanfaatkan untuk mereduksi *overshoot* dan mempercepat tanggapan awal serta tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunak. Penalaan kontrol derivatif dilakukan dengan menggunakan metode coba-coba, setelah melakukan beberapa kali penalaan maka diperoleh nilai konstanta derivatif ( $K_d$ ) sebesar 0,1. Hasil respon transien dengan pengontrol derivatif dapat dilihat pada gambar 4.11. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa hasil respon transien antara pengontrol proporsional dan derivatif sangat berbeda. Hasil respon transien pada pengontrol derivatif menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai keadaan tunak semakin cepat yaitu 0,24s, demikian juga *overshoot*-nya, sudah mulai tereduksi hingga 0,1. Adanya *settling time* yang cepat disebabkan karena adanya penambahan kontrol derivatif, hal ini dikarenakan kontrol derivatif bekerja dengan cara mendiferensialkan konstanta derivatif yang kemudian dikalikan dengan masukannya. Selain itu responnya terhadap laju perubahan kesalahan menghasilkan koreksi yang berarti sebelum kesalahan tersebut bertambah besar, sehingga menghasilkan tindakan pengontrol yang cepat.

Pada pengujian berikutnya adalah dengan menggabungkan antara pengontrol proporsional dan derivatif. Dengan memberikan nilai  $K_p$  sebesar 0,1 dan  $K_d$  sebesar 0,5 maka didapat respon transien seperti tertera pada gambar 4.13. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa respon transien yang dihasilkan

bagus dengan *settling time* = 0,12 dan *overshoot* = 0,05. Artinya, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan tunak lebih cepat dari kedua pengontrol sebelumnya, selain itu *overshoot* yang dimiliki lebih kecil dari yang sebelumnya (*overshoot* tereduksi). Pada kontroler PD, kontrol proporsional bekerja dengan cara mengalikan konstanta proporsional dengan masukannya, sedangkan kontrol derivatif bekerja dengan cara mendeferensialkan nilai konstanta derivatif yang kemudian dikalikan dengan masukannya, penggabungan kontroler P dan D merupakan penjumlahan dari keduanya (kontrol P dan kontrol D). Adanya pengontrol derivatif pada pengontrol PD memberikan efek menstabilkan sistem dengan cara memperbesar *phase lead* (fasa mendahului) terhadap penguatan loop kontrol yaitu dengan mengurangi *phase lag* (keterlambatan fasa) penguatan tersebut serta dapat mereduksi overshoot yang terjadi. Dengan mengamati respon transien dari ketiga tipe pengontrol (P, D, PD) dapat disimpulkan bahwa dari ketiga pengontrol (P, D dan PD) yang menghasilkan respon transien paling baik adalah pengontrol PD dengan nilai  $K_p=0,1$  dan  $K_d=0,5$  karena memiliki respon transien yang bagus dengan *overshoot* paling kecil dan *settling time* paling cepat.

Representasi simulasi dengan menggunakan Delphi dapat mempermudah *user* (pengguna) untuk melakukan analisis terhadap suatu sistem dan cepat dilakukan serta mudah untuk memberikan input yang berbeda-beda, sehingga menghasilkan keluaran suatu sistem kontrol sesuai dengan yang diinginkan

## BAB IV

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

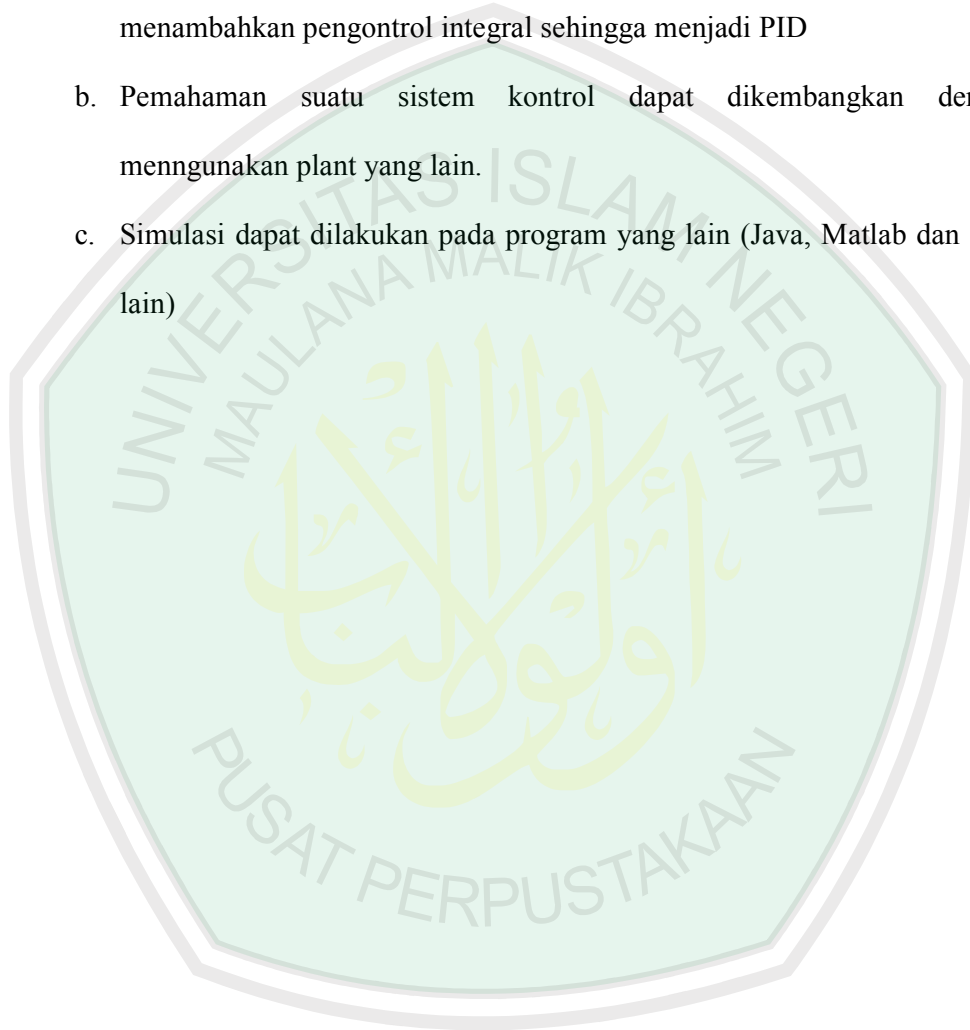
Dari uraian yang telah dipaparkan diatas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- f. Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam merancang simulasi sistem tangki air pada program Delphi dengan dinamika respon yang cepat dan overshoot sekecil mungkin antara lain : menentukan pengaturan fisik sistem tangki air, menentukan persamaan sistem tangki air, menentukan diagram blok sistem tangki air, menentukan fungsi alih sistem tangki air, dan menentukan laplace balik (*invers laplace*) sistem tangki air. Simulasi respon transien pada Delphi dibuat berdasarkan persamaan laplace balik (*invers laplace*) sistem tangki air.
- g. Dari beberapa pengujian (penalaan berdasarkan metode Ziegler-Nichols) didapatkan respon transien terbaik sistem diperoleh dengan pengontrol PD dengan nilai  $K_p = 0,1$  dan  $K_d = 0,5$  yang menunjukkan tanggapan sistem mencapai kestabilan yaitu *settling time* sekitar 0,12 dan *overshoot* sebesar 0,05.

## 5.2 Saran

Berdasarkan pembahasan, penulis menyarankan :

- a. Untuk memperbaiki respon transien sistem dapat dilakukan dengan menambahkan pengontrol integral sehingga menjadi PID
- b. Pemahaman suatu sistem kontrol dapat dikembangkan dengan menggunakan plant yang lain.
- c. Simulasi dapat dilakukan pada program yang lain (Java, Matlab dan lain-lain)



## Daftar Pustaka

- Chairuzzani dan Rusli. 1998. *Pengenalan Metode Ziegler-Nichols Pada Perancangan Kontroler PID*.  
www.geocities.com/arest/corridor/3364/tutoeiz.
- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta : Elex Media komputindo
- Hude, Darwis, Hasan Basri dkk., 2002. *Cakrawala Ilmu dan Al-Qur'an*. Jakarta : Pustaka Firdaus.
- Irnawan. 2005. *Memahami Pemrograman Delphi 7*. Jakarta : BSI Press
- Jayanto. 1999. *Belajar Sendiri Membuat Aplikasi Data Base Dengan Delphi*. Jakarta : Elex Media Komputindo
- Kasmoni. 2004. *Delphi 8.0 Untuk Orang Awam*. Palembang : Maxikom
- Kou, Benjamin.G. 1995. *Teknik Kontrol Automatik*. Alih bahasa : Mhd.Zulfan. Yogyakarta : PT. Aditya Media.
- Malik, Jaja Jamaluddin. 2006. *Kumpulan Latihan Pemrograman Delphi*. Yogyakarta : Andi
- Martina, Inge. 1999. *36 Jam Belajar Komputer Delphi 4.0*. Jakarta : PT. Elex Media Komputindo.
- Ogata, Katsuhiko. 1996. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Jakarta : Erlangga
- Ogata, Katsuhiko. 1996. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta : Erlangga
- Pakpahan,S. 1996. *Kontrol Otomatik Teori Dan Penerapan*. Jakarta : Erlangga
- Pasya, Ahmad Fuad. 2004. *Dimensi Sains Al-Qur'an, Menggali Kandungan Ilmu Pengetahuan Dari Al-Qur'an*. Solo : Tiga Serangkai
- Philips, Charles S dan Royce D. Harbor. 1998. *Sistem Kontrol*. Alih bahasa : Prof. R.J. Widodo. Jakarta : PT Prenhillindo.
- Shihab, Quraish. 2003. *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan Dan Keserasian Al-Qur'an vol 2*. Jakarta : Lentera Hati
- Shihab, Quraish. 2003. *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan Dan Keserasian Al-Qur'an vol 9*. Jakarta : Lentera Hati

## DATA HASIL PENALAAAN PARAMETER

### ➤ Kontrol Proporsional

Table 1. komponen respon transient dengan beberapa perubahan Kp

Nilai Kp	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,2	4,5
Overshoot	0,13	0,25	0,361	0,46	0,56	0,66	0,75	0,83	0,87	0,92
Settling Time	2,92	3,04	1,4	1,24	1,12	1,04	0,96	0,88	0,84	0,84

Keterangan : Pada saat nilai Kp= 4,2 dan 4,5 terjadi osilasi pada respon transient

### ➤ Kontrol Derivatif

Table 2. komponen respon transient dengan beberapa perubahan Kd

Nilai Kd	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Overshoot	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Settling Time	0,24	0,4	0,52	0,56	0,56	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

### ➤ Kontrol proporsional Derivatif

Table 3. komponen respon transient dengan beberapa perubahan Kp dan Kd

Nilai Kp = 0,1 dan nilai Kd bervariasi dari 0,5 sampai 4

Nilai Kd	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,2	3,5	3,7	4
Overshoot	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,32	0,35	0,37	0,4
Settling Time	0,12	0,44	0,52	0,6	0,6	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64

### LISTING PROGRAM DELPHI

```

unit coba;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls, Grids, math, ComCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Timer2: TTimer;
    PageControl1: TPageControl;
    TabSheet1: TTabSheet;
    TabSheet2: TTabSheet;
    TabSheet3: TTabSheet;
    TabSheet4: TTabSheet;
    StringGrid1: TStringGrid;
    Timer1: TTimer;
    StringGrid2: TStringGrid;
    StringGrid3: TStringGrid;
    Timer3: TTimer;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    StringGrid4: TStringGrid;
    Image1: TImage;
    Image2: TImage;
    Image3: TImage;
    Image4: TImage;
    Timer4: TTimer;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Button2: TButton;
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
  procedure Timer2Timer(Sender: TObject);
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  procedure Timer3Timer(Sender: TObject);
  procedure Timer4Timer(Sender: TObject);
  procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
  procedure Button2Click(Sender: TObject);
  end;

```

```

private
  { Private declarations }
  t,t1,t2,t3:real;
  z:integer;
  xOld:integer;
  yOld:integer;
  xOld1:integer;
  yOld1:integer;
  XOld2:integer;
  yold2:integer;
  XOld3:integer;
  yold3:integer;
  ymax :real;
  yposmax:integer;
  ymax1 :real;
  yposmax1 :integer;
  ymax2 :real;
  yposmax2:integer;
  ymax3 :real;
  yposmax3:integer;
  i,i1,i2,i3: integer;
public
  { Public declarations }
  Procedure Setting_Gb;
end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

uses Unit2;

{$R *.DFM}
Procedure TForm1.Setting_Gb;
var x1:integer;
    text : string;
begin
  image1.Canvas.Brush.Color:=clwhite;
  image1.Canvas.Rectangle(0,0,image1.Width,image1.Height);

  image1.Canvas.Pen.Color:=clred;
  image1.Canvas.MoveTo(20,0);
  image1.Canvas.LineTo(20,image1.Height);
  image1.Canvas.MoveTo(0,image1.Height-20);
  image1.Canvas.LineTo(image1.Width ,image1.Height-20);

```

```

image2.Canvas.Brush.Color:=clwhite;
image2.Canvas.Rectangle(0,0,image2.Width,image2.Height);
image2.Canvas.Pen.Color:=clred;
image2.Canvas.MoveTo(20,0);
image2.Canvas.LineTo(20,image2.Height);
image2.Canvas.MoveTo(0,image2.Height-20 );
image2.Canvas.LineTo(image2.Width ,image2.Height-20);

image3.Canvas.Brush.Color:=clwhite;
image3.Canvas.Rectangle(0,0,image3.Width,image3.Height);
image3.Canvas.Pen.Color:=clred;
image3.Canvas.MoveTo(20,0);
image3.Canvas.LineTo(20,image3.Height);
image3.Canvas.MoveTo(0,image3.Height-20 );
image3.Canvas.LineTo(image3.Width ,image3.Height-20);

image4.Canvas.Brush.Color:=clwhite;
image4.Canvas.Rectangle(0,0,image4.Width,image4.Height);
image4.Canvas.Pen.Color:=clred;
image4.Canvas.MoveTo(20,0);
image4.Canvas.LineTo(20,image4.Height);
image4.Canvas.MoveTo(0,image4.Height-20 );
image4.Canvas.LineTo(image4.Width ,image4.Height-20);

for x1:=0 to 80 do
begin
image1.Canvas.Font.Color:=clblue;
image2.Canvas.Font.Color:=clblue;
image3.Canvas.Font.Color:=clblue;
image4.Canvas.Font.Color:=clblue;
image1.Canvas.Font.Size:=8;
image2.Canvas.Font.Size:=8;
image3.Canvas.Font.Size:=8;
image4.Canvas.Font.Size:=8;
text:= floattostr(0.5*x1);
if Pos(',',text)=0 then
if not(text='0') then text:=text+',0';
image1.Canvas.TextOut(trunc(15+(0.5*x1*50)), image1.Height-15,text);
image2.Canvas.TextOut(trunc(15+(0.5*x1*50)), image2.Height-15,text);
image3.Canvas.TextOut(trunc(15+(0.5*x1*50)), image3.Height-15,text);
image4.Canvas.TextOut(trunc(15+(0.5*x1*50)), image4.Height-15,text);
end;
end;

```

```

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  i:=0;
  t:=0;
  i1:=0;
  t1:=0;
  i2:=0;
  t2:=0;
  i3:=0;
  t3:=0;

end;
procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
var
  P,Q: real;
  r1,r2,c1,c2,a,b,c,h2:real;
  x:real;
  text:string;
begin
  //image1.Canvas.
  z:=image1.Height;
  if t<=20 then
  begin
    r1:=1;
    r2:=1;
    c1:=1;
    c2:=1;
    c:=1;
    a:=c1*r1*c2*r2;
    b:=(c1*r1)+(c2*r2)+(c1*r2);
    p:=(-1*b+(sqrt(sqr(b)-(4*a*c)))/(2*a);
    q:=(-1*b-(sqrt(sqr(b)-(4*a*c)))/(2*a);
    x:=(p-q);
    H2:=(r2/x)*((exp(p*t)) - (exp(q*t)));
    stringgrid1.Cells[0,i+1]:=FloatToStr(t);
    stringgrid1.Cells[1,i+1]:=FloatToStr(H2);
    image1.Canvas.Pen.Color:=clblack;
    if i=0 then
      image1.Canvas.MoveTo(0+20,z-20)
    else
      image1.Canvas.MoveTo(xold+20,yold-20);
    image1.Canvas.LineTo(20+trunc(t*50),trunc(z-(H2*500))-20);
    xold:= trunc(t*50);
    yold:= trunc(z-(H2*500));
  end;
  t:=t+1;
  i:=i+1;
  t1:=t1+1;
  i1:=i1+1;
  t2:=t2+1;
  i2:=i2+1;
  t3:=t3+1;
  i3:=i3+1;
end;

```

```

if h2>ymax then
begin
    ymax:=h2;
    yposmax:=yold;
end;
stringgrid1.RowCount:=stringgrid1.RowCount+1;
t:=t+0.04;
i:=i+1;
end;
if t>20 then
begin
    text:= floattostr(ymax);
    if Pos(',',text)=0 then
        if not(text='0') then text:=text+',0';
    image1.Canvas.TextOut(15, yposmax-15,text);
    timer1.Enabled :=false;
end;
end;

procedure TForm1.Timer2Timer(Sender: TObject);
var
    P,Q: real;
    r1,r2,c1,c2,a,b,c,h2,k:real;
    x:real;
    kp:real;
    akar, akarr :real;
    text:string;
begin
    z:=image2.Height;
    if t1<=15 then
    begin
        kp:=strtofloat(edit1.Text);
        r1:=1;
        r2:=1;
        c1:=1;
        c2:=1;
        c:=1;
        a:=c1*r1*c2*r2;
        b:=(c1*r1)+(c2*r2)+(c1*r2);
        k:=r2*kp;
        akar:=(sqr(b)-(4*a*(c+k)));
        if akar >=0 then
            akarr:= sqrt(akar)
        else
            //akar:=0;
            akarr := Sqrt(-akar);
    end;
end;

```

```

p:=(-1*b+akarr)/(2*a);
q:=(-1*b-akarr)/(2*a);
x:=(p-q);
if akar >= 0 then
  H2:=(k/x)*((exp(p*t1)) - (exp(q*t1)))
else
  H2 := (k/x)* (exp(-b*t1)* 2*sin(Akarr* t1));
stringgrid2.Cells[0,i+1]:=Floattostr(t1);
stringgrid2.Cells[1,i+1]:=Floattostr(H2);
image2.Canvas.Pen.Color:=clblack;
if i1=0 then
  image2.Canvas.MoveTo(20,z-20)
else
  image2.Canvas.MoveTo(xold1+20,yold1-20);
image2.Canvas.LineTo(20+trunc(t1*50),trunc(z-(H2*500))-20);
xold1:= trunc(t1*50);
yold1:= trunc(z-(H2*500));
if h2>ymax1 then
begin
  ymax1:=h2;
  yposmax1:=yold1;
end;
stringgrid2.RowCount:=stringgrid2.RowCount+1;
t1:=t1+0.04;
i1:=i1+1;
end;
if t1>15 then
begin
  text:= floattostr(ymax1);
  if Pos(',',text)=0 then
    if not(text='0') then text:=text+',0';
    image2.Canvas.TextOut(15, yposmax1-15,text);

  timer2.Enabled :=false;
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  //image1.Picture.LoadFromFile(FFile.namafile);
  i:=0;
  t:=0;
  i1:=0;
  t1:=0;
  i2:=0;
  t2:=0;

```

```

i3:=0;
t3:=0;
setting_Gb;
stringgrid1.Cells[0,0]:= ' Waktu(t)';
stringgrid1.Cells[1,0]:= ' H2';
stringgrid2.Cells[0,0]:= ' Waktu(t)';
stringgrid2.Cells[1,0]:= ' H2';
stringgrid3.Cells[0,0]:= ' Waktu(t)';
stringgrid3.Cells[1,0]:= ' H2';
stringgrid4.Cells[0,0]:= ' Waktu(t)';
stringgrid4.Cells[1,0]:= ' H2';
stringgrid1.RowCount :=2;
stringgrid2.Rowcount :=2;
stringgrid3.Rowcount :=2;
stringgrid4.Rowcount :=2;
ymax:=0;
ymax1:=0;
ymax2:=0;
ymax3:=0;
timer1.Enabled:=true;
timer2.Enabled:=true;
timer3.Enabled :=true;
timer4.Enabled :=true;
end;

procedure TForm1.Timer3Timer(Sender: TObject);
var
  r1,r2,c1,c2,a,b,c,h2:real;
  x:real;
  kd:real;
  M1,M2,L:real;
  akar :real;
  text:string;
begin
  z:=image3.Height;
  if t2<=15 then
  begin
    kd:=strtofloat(edit2.Text);
    r1:=1;
    r2:=1;
    c1:=1;
    c2:=1;
    c:=1;
    a:=c1*r1*c2*r2;
    b:=(c1*r1)+(c2*r2)+(c1*r2);

```

```

L:=r2*kd;
akar:= (sqr(b+L)-(4*a*c));
if akar >0 then
    akar:= sqrt(akar)
else
    akar:=0;

M1:=(-1*(b+L)-akar)/(2*a);
M2:=(-1*(b+L)+akar)/(2*a);
x:=(M2-M1);
if x>0 then
    H2:=(L/x)*(M2*(exp(M2*t2))-(M1*(exp(M1*t2))))
else
    H2:=0;
stringgrid3.Cells[0,i2+1]:=Floattostr(t2);
stringgrid3.Cells[1,i2+1]:=Floattostr(H2);
image3.Canvas.Pen.Color:=clblack;
if i2=0 then
    image3.Canvas.MoveTo(20,z-20)
else
    image3.Canvas.MoveTo(xold2+20,yold2-20);
image3.Canvas.LineTo(trunc((t2*100)+20),trunc(z-(H2*300))-20);
xold2:= trunc(t2*100);
yold2:= trunc(z-(H2*300));
if h2>ymax2 then
begin
    ymax2:=h2;
    yposmax2:=yold2;
end;
stringgrid3.RowCount:=stringgrid3.RowCount+1;
t2:=t2+0.04;
i2:=i2+1;
end;
if t2>15 then
begin
    text:= floattostr(ymax2);
    if Pos(',',text)=0 then
        if not(text='0') then text:=text+',0';
        image3.Canvas.TextOut(15, yposmax2-15,text);

    timer3.Enabled :=false;
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm1.Timer4Timer(Sender: TObject);
var
  r1,r2,c1,c2,a,b,c,h2:real;
  x:real;
  kd,kp:real;
  N1,N2:real;
  akar :real;
  o1,o2:real;
  text:string;
begin
  z:=image4.Height;
  if t3<=15 then
  begin
    kp:=strtofloat(edit1.Text);
    kd:=strtofloat(edit2.Text);
    r1:=1;
    r2:=1;
    c1:=1;
    c2:=1;
    c:=1;

    a:=c1*r1*c2*r2;
    b:=(c1*r1)+(c2*r2)+(c1*r2);
    o1:=r2*kp;
    o2:=r2*kp*kd;
    akar:=(sqr(b+o2)-(4*a*(c+o1)));
    if akar >0 then
      akar:=sqrt(akar)
    else
      akar:=0;

    N1:=(-1*(b+o2)-akar)/(2*a);
    N2:=(-1*(b+o2)+akar)/(2*a);
    x:=(N2-N1);
    if x>0 then
      H2:=((o1/x)*(exp(N2*t3)-(exp(N1*t3))))+((o2/x)*(N2*(exp(N2*t3))-
(N1*(exp(N1*t3)))))
    else
      H2:=0;
    stringgrid4.Cells[0,i3+1]:=Floattostr(t3);
    stringgrid4.Cells[1,i3+1]:=Floattostr(H2);
    image4.Canvas.Pen.Color:=clblack;
    if i3=0 then
      image4.Canvas.MoveTo(20,z-20)
    else
      image4.Canvas.MoveTo(xold3+20,yold3-20);

```

```

image4.Canvas.LineTo(trunc((t3*100)+20),trunc(z-(H2*300))-20);
xold3:= trunc(t3*100);
yold3:= trunc(z-(H2*300));
if h2>ymax3 then
begin
  ymax3:=h2;
  yposmax3:=yold3;
end;
//stringgrid4.Cells[2,i3+1]:=inttostr(xold3);
//stringgrid4.Cells[3,i3+1]:=inttostr(yold3);
stringgrid4.RowCount:=stringgrid4.RowCount+1;
t3:=t3+0.04;
i3:=i3+1;
end;
if t3>15 then
begin
  text:= floattostr(ymax3);
  if Pos(',',text)=0 then
    if not(text='0') then text:=text+',0';
    image4.Canvas.TextOut(15, yposmax3-15,text);

  timer4.Enabled :=false;
end;
end;

procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
  form2.show;
  form1.Hide;
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  form1.Hide;
  form2.Show;
end;

end.

```