BAB IV

PENGUJIAN, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dijelaskan tentang bagaimana hasil perancangan sistem dan analisis dari sistem yang telah dibangun berdasarkan perancangan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Terkait dengan analisis sistem, agar memudahkan pembahasan pada bab ini maka akan di buat sistematika pembahasan yang terdiri dari :

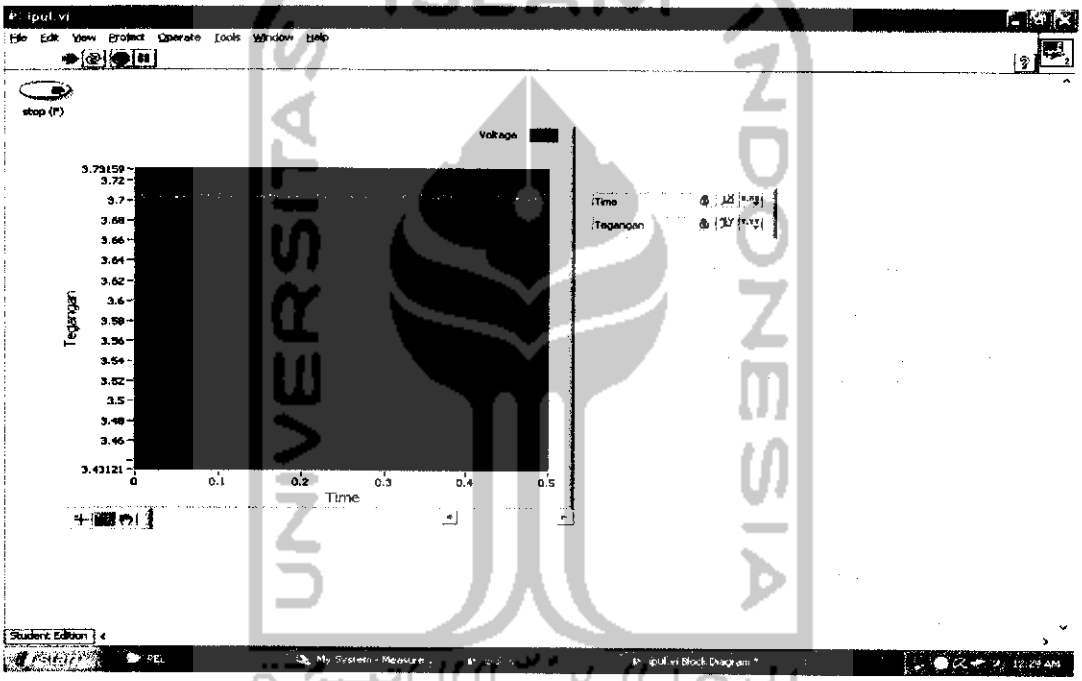
1. Analisis pada perangkat keras
2. Analisis pada perangkat lunak
3. Analisis parameter PID untuk optimasi pengontrolan ketinggian level air .

4.1 Analisis Pada Sisi Perangkat Keras

4.1.1 Setting Potensiometer

Sistem pengontrolan level ketinggian air ini terdapat di potensiometer yang berfungsi sebagai sensor. Potensiometer ini akan terhubung oleh ADC sebagai konverter. Dimana setiap putaran dari potensiometer akan mengeluarkan tegangan VDC dan akan dikonversi menjadi tegangan digital oleh ADC. Pada dasarnya ketika potensiometer ini diputar penuh, maka tegangan keluarannya adalah 0 - 5 VDC. Akan tetapi pada perancangan sistem ini, potensiometer tidak di putar penuh, oleh karena itu untuk menghasilkan akuisisi data yang diinginkan yaitu 0 - 255 bit/putaran, maka pada ADC kita harus melakukan *setting* pada tegangan referensinya.

Pengujian karakteristik ke-linearan sebuah potensiometer yang digunakan sebagai sensor pengukur level air ini dapat dilihat menggunakan sebuah *software* DAQ 6009. Pada gambar 4.1 dibawah ini dapat dilihat sebuah grafik dari pengujian potensiometer.



Gambar 4.1 Pengujian karakteristik Potensiometer menggunakan DAQ 6009

Ketika tegangan *input* maksimal potensiometer adalah 5 V, maka tegangan referensi yang harus diberikan adalah,

$V_{REF} = V_{IN}$ MAKS/ 2 = 5V/2 = 2.5 Volt *(4.1)*

Tegangan resolusi,

V RESOLUSI = V_{IN} MAKS/ 255 = 5V/ 255 = 0.0196 V/Bit *(4.2)*

Pada sistem perangkat keras yang akan dibuat tegangan inputnya adalah 5V/10 putaran = 0.5 Volt

Jadi tegangan referensi yang harus diberikan pada ADC adalah,

$V_{REF} = V_{IN}$ MAKS/ 2 = 0.5V/2 = 0.25 Volt *(4.3)*

Tegangan Resolusi,

V RESOLUSI = V_{IN} MAKS/ 255 = 0.5V/ 255 = 0.00196 V/Bit *(4.4)*

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor

Tegangan Sensor	Output (Desimal)	Output (Biner)
0	0	00000000
0.00196	1	00000001
0.00392	2	00000010
0.00588	3	00000011
0.00784	4	00000100
0.0098	5	00000101
0.01176	6	00000110
0.01372	7	00000111
0.01568	8	00001000
0.01764	9	00001001
0.0196	10	00001010
0.02156	11	00001011
0.02352	12	00001100
0.02548	13	00001101
0.02744	14	00001110
...	...	...
0.5	255	11111111

Tabel diatas menunjukkan *output* dari potensiometer, dimana setiap data yang sudah di konversi menjadi biner akan menjadi data untuk mengukur ketinggian air. Data 0 – 255 digunakan untuk mengukur ketinggian air dari 0 – 30 cm atau 0 – 50% dari tinggi tangki air.

4.1.2 Akuisisi Data Rangkaian ADC

Perancangan ADC ini menggunakan metode *free running* yaitu proses konversinya secara terus menerus selama ada perubahan tegangan *input*. Tujuan pengujian rangkaian ADC 0804 untuk mengetahui tegangan hasil konversi bilangan biner dari tegangan *input* ADC. Prosedur pengujian yaitu :

- Pemberian catu daya 5 volt pada rangkaian ADC
- Memberikan tegangan input ke ADC secara bervariasi.
- Pengambilan data ADC

Setelah mengamati hasil pengujian ADC didapatkan data pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pada Rangkaian ADC 0804

Tegangan Input	HASIL KONVERSI BINER								Dalam Heksa
	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	1	1	33
1.1	0	0	1	1	1	0	0	0	38
1.2	0	0	1	1	1	1	0	1	3D
1.3	0	1	0	0	0	0	1	1	67
1.4	0	1	0	0	1	0	0	0	48
1.5	0	1	0	0	1	1	0	1	4D
1.6	0	1	0	1	0	0	1	0	52
1.7	0	1	0	1	0	1	1	1	57
1.8	0	1	0	0	1	1	0	0	5C
1.9	0	1	1	0	0	0	0	1	61

Tabel 4.2 Lanjutan

Tegangan Input	HASIL KONVERSI BINER								Dalam Heksa
	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
2	0	1	1	0	0	1	1	1	66
2.1	0	1	1	1	1	0	1	1	6B
2.2	0	1	1	1	0	0	0	1	71
2.3	0	1	1	1	0	1	1	0	76
2.4	0	1	1	1	1	0	1	1	7B
2.5	1	0	0	0	0	0	0	0	80
2.6	1	0	0	0	0	1	0	1	85
2.7	1	0	0	0	1	0	1	0	8A
2.8	1	0	0	0	1	1	1	1	8F
2.9	1	0	0	1	0	1	0	0	94
3	1	0	0	1	1	0	1	0	9A
3.1	1	0	0	1	1	1	1	1	9F
3.2	1	0	1	0	0	1	0	0	A4
3.3	1	0	1	0	1	0	0	1	A9
3.4	1	0	1	0	1	1	1	0	AE
3.5	1	0	1	1	0	0	1	1	B3
3.6	1	0	1	1	1	0	0	0	B8
3.7	1	0	1	1	1	1	0	1	BD
3.8	1	1	0	0	0	0	1	1	C3
3.9	1	1	0	0	1	0	0	0	C8
4	1	1	0	0	1	1	0	1	CD
4.1	1	1	0	1	0	0	1	0	D2
4.2	1	1	0	1	0	1	1	1	D7
4.3	1	1	0	1	1	1	0	0	DC
4.4	1	1	1	0	0	0	0	1	E1
4.5	1	1	1	0	0	1	1	0	E6
4.6	1	1	1	0	1	0	1	1	EB
4.7	1	1	1	1	0	0	0	1	F1
4.8	1	1	1	1	0	1	1	0	F6
4.9	1	1	1	1	1	0	1	1	FB
4.98	1	1	1	1	1	1	1	1	FF

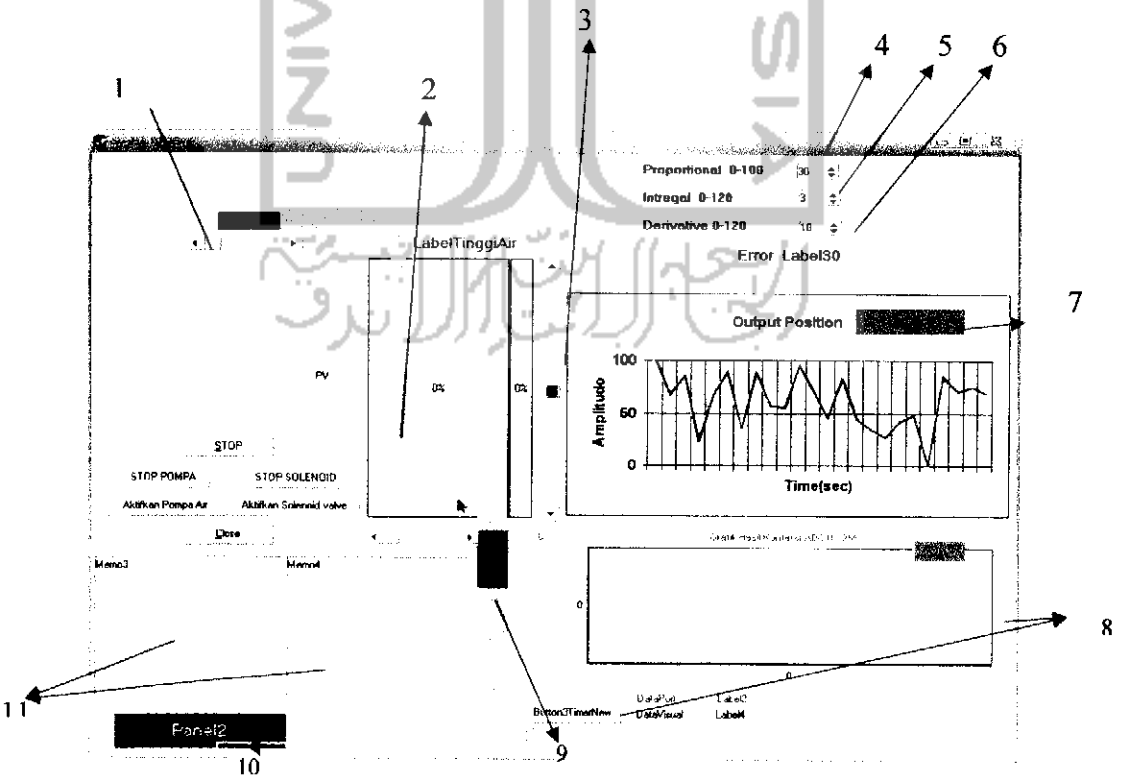
4.1.3 Solenoid Valve Sebagai Output

Output dari sistem ini menggunakan *solenoid valve*. Dimana *output valve* ini juga sebagai pembentuk grafik kontrol PID. *Valve* di kontrol melalui *input* logika dari PPI8255, dimana sebelum masuk ke *valve* yang membutuhkan tegangan

analog, maka bit dari PPI8255 akan di konversi menjadi tegangan oleh DAC 0808. *Valve* ini memerlukan input tegangan 0 – 5 Volt. Sehingga ketika input logika dari PPI8255 sebesar FFH (FF Heksa) maka DAC akan meng-konversi nya menjadi tegangan 5 Volt. *Valve* akan aktif mengikuti *output* sistem dari kontrol PID.

4.2 Analisis Perangkat Lunak

Perangkat lunak ini menggunakan bahasa pemrograman *PASCAL* dengan *software* Delphi 7. Sistem dibangun untuk menampilkan GUI (*Graphical User Interface*) dari pemrograman kontrol PID. Gambar 4.2 ini adalah hasil dari visualisasi perancangan pemrograman sistem kendali PID dengan menggunakan Delphi 7.



Gambar 4.2 Tampilan GUI kontrol PID

Keterangan Gambar :

1. **HScroll1** : Merupakan *input* debit air yang masuk kedalam tangki visual. Ketika tombol aktifkan pompa air di "klik" maka secara otomatis HScroll1 akan membuka penuh (100%) secara konstan sebagai masukan *input*. Pada tangki yang asli pompa air akan aktif dan akan mengisi tangki secara terus menerus dengan debit air yang konstan dan akan berhenti ketika tombol stop pompa di "klik".
2. **Tangki air visual** : Ini merupakan visualisasi dari tangki air sebenarnya. Dimana ketika air terisi didalam tangki yang sebenarnya maka tangki air visual ini akan terisi juga secara otomatis. Tangki air visual ini terisi dengan pembacaan data bit dari sensor yang telah dikonversi oleh ADC. Visual dari tangki air ini berproses dengan *sampling time* 2 detik yang diatur oleh *timer*, yaitu setiap 2 detik pembacaan data dari sensor maka dilakukan proses ketinggian air yang berulang-ulang hingga batas air yang diinginkan. Proses ketinggian air ini terbaca dalam persentase .
3. **VScroll1** : Digunakan sebagai pengatur ketinggian air yang diinginkan. VScroll1 ini juga merupakan *setting point* (SP) dari level ketinggian air. Ketika VScroll1 kita *setting* sebesar 50%, maka tangki air visual akan berproses sebagai *process variable* yang akan mencapai nilai *setting point*. Hal ini terjadi karena telah mengalami proses kontrol yang sebenarnya, dimana ketika error yang kita inginkan sama dengan nol (0) maka harus terjadi proses dimana sesuai dengan persamaan :

$$\mathbf{E = SP - PV} \qquad (4.4)$$

Dimana,

E = Error

SP = *Setting Point*

PV = *Process Variable*

4, 5, 6. **Parameter PID** : Di bagian ini merupakan tempat untuk *setting* parameter- parameter kontrol PID (*Proporsional, Integral, Derivative*) untuk mendapatkan respon sistem yang paling baik.

7. **VtChart1** : Ini merupakan *output* grafik dari kontrol PID yang telah di *setting* parameternya. Karena sistem yang dibuat ini yaitu mengontrol *output* keluaran *valve*, maka grafik ini akan menampilkan nilai *output* keluaran dari *setting* parameter. Grafik VtChart1 ini akan berhubungan langsung dengan Hscroll2 (no. 9) sebagai *output* dari sistem. Dari grafik di label Y terdapat amplitudo yang merupakan *output* keluaran, sedangkan di label X merupakan pewaktu (*time*) untuk mengetahui pada detik keberapa waktu proses kontrol PID mulai terjadi.
8. **Chart1** : Ini merupakan grafik tegangan dari sensor potensiometer yang sudah dikonversi oleh ADC menjadi biner. Dimana tiap bit data dari ADC akan ditampilkan pada grafik.
9. **HScroll2** : Merupakan *output* dari sistem yang dalam perangkat keras yang nanti akan terhubung dengan *solenoid valve* sebagai keluaran air. Grafik dari

proses kontrol PID berawal dari bukaan HScroll2. Dimana HScroll2 akan sedikit demi sedikit terbuka sampai menghasilkan *output* respon yang baik. HScroll2 ini dikontrol secara otomatis yang tergantung dari *output* sistem.

10. **Panel2** : Ini digunakan sebagai penampil jam dan tanggal pada saat proses kontrol dimulai.
11. **Memo** : Ini digunakan sebagai penampil proses PID yang telah terjadi dalam perangkat lunak.

4.3 Analisis Parameter PID untuk Optimasi Level Ketinggian Air

Pengujian sistem pengaturan level ketinggian air dilakukan dengan berbagai parameter konstanta Kp (Konstanta *Proportional*), Ki (Konstanta *Integral*), dan Kd (Konstanta *Derivative*). *Range* pengukuran ketinggian air yang dilakukan adalah 0 – 50% yang dikonversikan oleh ADC menjadi data 0 – 255. Dalam pengujian ini data ketinggian air yang digunakan adalah dalam skala yang ditunjukkan oleh ADC 0 – 255. Parameter yang dimasukan berbeda – beda.

4.3.1 Pengujian Sistem Kontrol PID

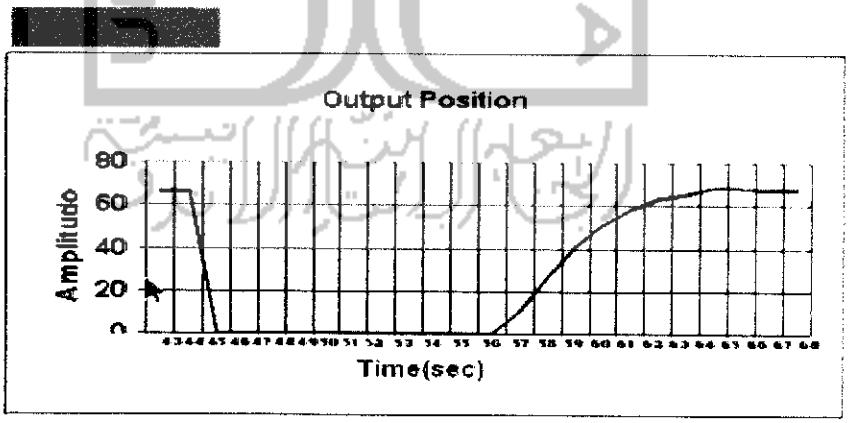
4.3.1.2 Pengujian Sistem Dengan Perubahan Parameter

4.3.1.2.1 Perubahan Parameter Kp

Tabel 4.3 Hasil Pengujian terhadap parameter Kp

Setting Point (SP)	Konstanta PID			Data ADC	Rise Time	Steady State	Over	Error
%	Kp	Ki	Kd	Bit	(Sec)	(Sec)	Shoot	
30%	85	10	3	118	54.8	63	-	0
	75	10	3	130	56.6	67	65	-2
	65	10	3	148	59.8	72	67	0
	55	10	3	145	59.7	72	68	-1
	45	10	3	139	58.7	71	68	-5

Pada tabel percobaan diatas dapat dilihat pengaruh Kp terhadap sistem. Pertambahan harga Kp akan menaikkan penguatan sistem sehingga dapat digunakan untuk memperbesar kecepatan respon dan mengurangi error penyimpangan dalam keadaan mantap (*error steady state*).



Gambar 4.3 Respon output sistem dengan Kp=75, Ki=10, Kd=3

Gambar 4.3 menunjukkan pemilihan Kp yang tidak optimal pada sistem Pemakain alat kontrol jenis ini saja sering tidak memuaskan karena penambahan K selain membuat sistem lebih sensitif, tetapi juga cenderung mengakibat kestabilan.

Disamping itu pertambahan Kp adalah terbatas dan tidak cukup untuk mencapai respon sampai suatu harga yang diinginkan.

Kenyataan dalam usaha mengatur harga Kp terdapat keadaan-keadaan yang bertentangan. Di satu pihak diinginkan mengurangi error sebanyak mungkin,tetapi hal ini akan mengakibatkan osilasi bagi respons yang berarti membutuhkan waktu yang lama pada "*setting time*", sedang di pihak lain respons terhadap setiap perubahan masukan harus terjadi secepat mungkin tetapi dengan lonjakan dan osilasi sekecil mungkin. Respons yang cepat memang dapat diperoleh dengan memperbesar Kp, tetapi hal ini juga akan mengakibatkan ketidak stabilan sistem.

Untuk mengatasi masalah-masalah ini, alat kontrol yang akan digunakan harus mempunyai persyaratan berikut :

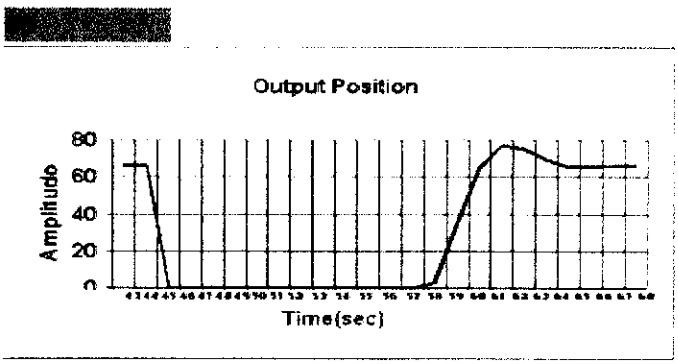
a. penguatan yang tinggi pada frekuensi-frekuensi yang sangat rendah (untuk mengurangi kesalahan-kesalahan).
b. Penguatan yang tinggi pada frekuensi-frekuensi tinggi (yakni dengan secepatnya mengikuti perubahan masukan bila laju perubahan transien adalah yang paling cepat). Hal ini penting untuk menjamin respon yang cepat.
c. Pada frekuensi-frekuensi menengah (yakni dalam bagian terakhir respons transient dan sebelum "*on set*" (kondisi - kondisi mantap) penguatan sebaiknya cukup rendah agar terjamin proses yang tidak mengalami lonjakan yang berlebihan dan juga setiap kecenderungan berosilasi akan diredam dengan cepat.

4.3.1.2.2 Perubahan Parameter Ki

Tabel 4.4 Hasil Pengujian terhadap parameter Ki

Setting Point (SP)	Konstanta PID			Data ADC	Rise Time	Steady State	Over	Error
%	Kp	Ki	Kd	Bit	(Sec)	(Sec)	Shoot	
30%	85	10	3	118	54.8	63	-	0
	85	20	3	129	58.5	68	63	0
	85	30	3	125	57.6	66	61.5	0
	85	40	3	120	56.6	64	59.6	0
	85	50	3	118	56.6	64	59.6	0

Dari tabel hasil percobaan 4.4 diatas dapat dilihat pengaruh Ki pada sebuah sistem kontrol. Dari semua parameter Ki yang dimasukkan mengalami *over shoot* dan hanya percobaan pertama pengujian terhadap parameter Ki ini. Pada dasarnya sifat dasar kontrol Ki adalah dapat memperbaiki respon *steady state*, namun pemilihan Ki yang tidak tepat atau terlalu besar dapat menyebabkan respon □ransient (*transient respon*) yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan Ki yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan *output* berisolasi.



Gambar 4.4 Respon output sistem dengan Kp=85, Ki=30, Kd=3

Gambar 4.4 menunjukkan respon sebuah kontrol yang tidak optimal dengan pemilihan Ki yang besar.

4.3.1.2.3 Perubahan Parameter Kd

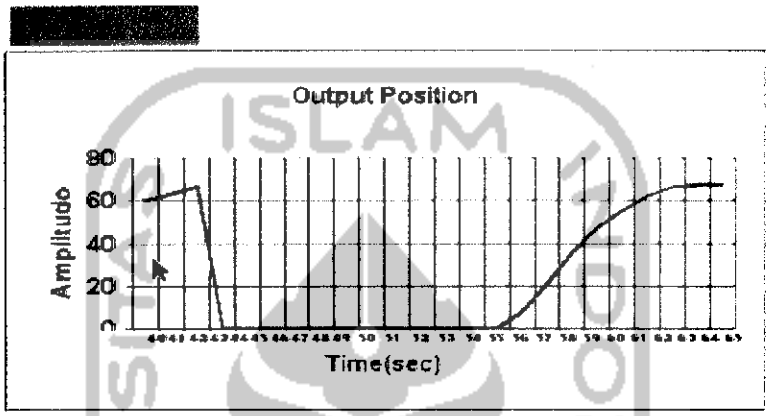
Tabel 4.5 Hasil Pengujian terhadap parameter Kd

Setting Point (SP) %	Konstanta PID			Data ADC	Rise Time	Steady State	Over	Error
	Kp	Ki	Kd	Bit	(Sec)	(Sec)	Shoot	
30%	85	10	3	118	54.8	63	-	0
	85	10	10	118	54.8	63	-*	-1
	85	10	20	118	55.6	64	-*	-3
	85	10	30	118	55.6	64	-*	-5
	85	10	40	118	55.6	64	-*	-7

Keterangan : -* => *Over Shoot* yang tidak kelihatan di grafik

Tabel 4.3 merupakan hasil pengujian ketika parameter Kd kita berikan nilai bervariasi. Pada percobaan tersebut terdapat konstanta PID yang paling handal atau ideal untuk mengatur level ketinggian air dengan *setting point* 30%. Untuk konstanta kontrol yang paling tepat adalah dengan memasukan harga Kd = 3. Pemilihan Kd yang tepat dapat meningkatkan stabilitas sistem, mengurangi *over shoot*, dan meningkatkan respon transien. Dengan memberikan Kd yang ideal untuk tiap jenis pengontrolan maka dapat menghasilkan respon yang cepat mencapai *error*. Apabila Kd yang kita berikan teralalu besar maka stabilitas sistem akan terganggu. Pemberian

Kd yang kecil tidak hanya berpengaruh pada cepat nya kondisi *rise time* tapi juga berpengaruh pada saat sistem mengalami *steady state.*



Gambar 4.5 Respon output sistem dengan Kp=85, Ki=10, Kd=40

Gambar 4.5 menunjukkan sebuah respon output sistem yang kurang optimal denga pemilian Kd yang besar

4.3.1.2 Pengujian Sistem dengan perubahan *setting point*

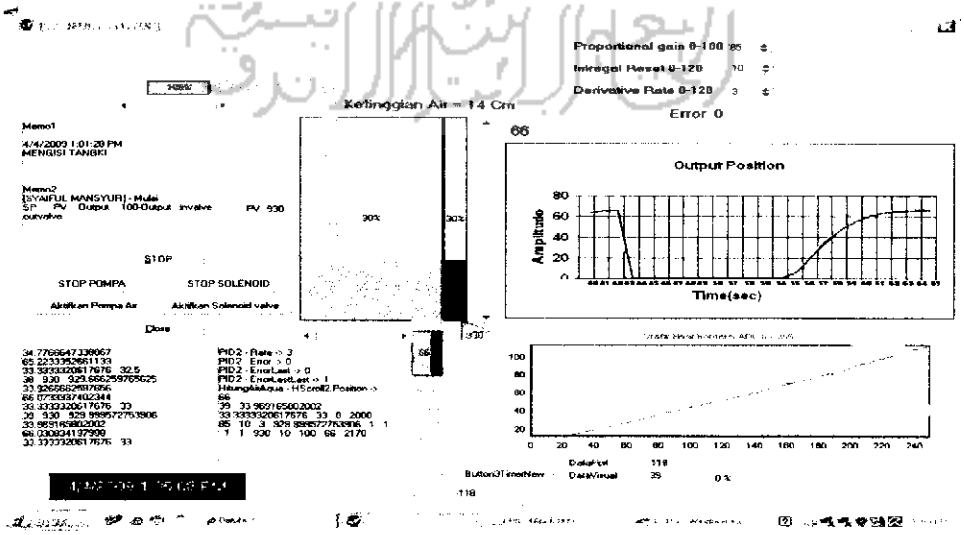
Setelah melakukan percobaan dengan melakukan perubahan pada parameter-parameter kontrol Kp, Ki, dan Kd maka didapatkan parameter kontrol yang paling optimal adalah Kp=85, Ki=10, dan Kd= 3. Selanjutnya dalam pengujian ini, dilakukan percobaan dengan parameter konstanta kontrol sama dan *setting point* yang berbeda. Tujuan dari percobaan ini untuk mengetahui kehandalan pengendali PID.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian terhadap *setting point* PID

Setting Point (SP)	Konstanta PID			Data ADC	Rise Time	Steady State	PV
%	Kp	Ki	Kd	Bit	(Sec)	(Sec)	
30%	85	10	3	118	54.8	63	930
35%	85	10	3	126	58.8	67	1035
40%	85	10	3	141	63.6	72	1240
45%	85	10	3	153	67.6	75	1395
50%	85	10	3	168	71.9	80	1550

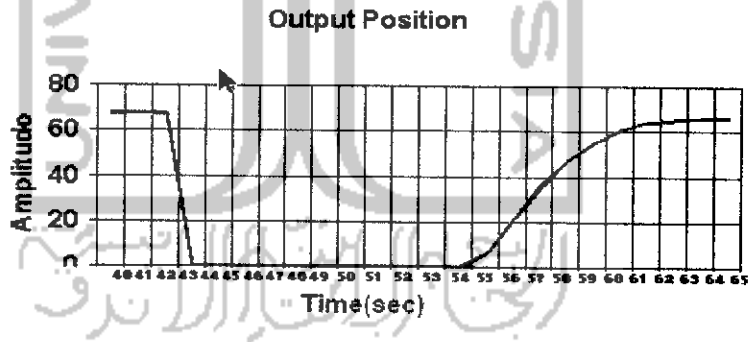
Pada tabel 4.6 diatas adalah hasil pengujian dengan parameter yang sama namun dengan *setting point* yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana parameter tersebut handal pada setiap *setting point*, maka dari tabel diatas diketahui semua *setting point* pada sistem tersebut handal dengan parameter tersebut.

Nilai *setting point* ketinggian air 930 dan menunjukkan ketinggian air 30% yang dilihat dari visual sedangkan di keadaan sebenarnya ketinggian air 14cm.



Gambar 4.6 Tampilan GUI kontrol PID setelah di *Run*

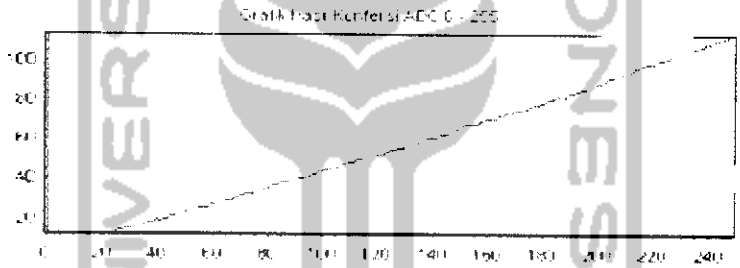
Gambar 4.6 menunjukkan hasil visualisasi kontrol PID yang mulai di proses setelah tombol aktifkan pompa air di "klik". Pada awalnya semua parameter kontrol di *setting* Kp = 85, Ki = 10, dan Kd =3. Pada tangki air visual akan terjadi proses hingga *setting point* yang telah di tetapkan yaitu 930 atau sebesar 30%. Pada tangki air yang sebenarnya air akan mengisi masuk hingga 14 cm. Ketika proses pengisian pada tangki air visual dan pada tangki sebenarnya telah mencapai *setting point* maka *output* sistem akan terbuka sebesar 66% dan pada *solenoid valve* yang telah di *setting* keluarannya akan terbuka sebesar 70 Heksa yang menyesuaikan *output* 66% , dimana *output* sistem inilah yang menjadi *output* dari PID.



Gambar 4.7 Respon output sistem dengan Kp=85, Ki=10, Kd=3

Pada gambar 4.4 diatas, waktu naik (*rise time*) terjadi pada detik ke-54,8. Dengan memasukan harga Kp yang besar akan memperkecil *overshoot* dan mempercepat pencapaian *steady state*. Pencapaian *steady state* untuk mendapatkan *error* = 0, terjadi pada detik ke- 63.

Untuk membuat tangki air visual dan tangki air sebenarnya terkoneksi adalah melalui data dari sensor potensiometer yang telah di konversi oleh ADC 0804. Untuk percobaan ini kita *setting point* sebesar 930 maka tangki air sebenarnya akan diisi hingga data dari sensor terbaca 118 bit. Saat *setting point* yang di berikan berbeda-beda maka data dari sensor untuk mencapai *setting point* tersebut juga bervariasi. Hal ini akan didapatkan di percobaan selanjutnya. Berikut gambar grafik dari ADC pada percobaan pertama ini,

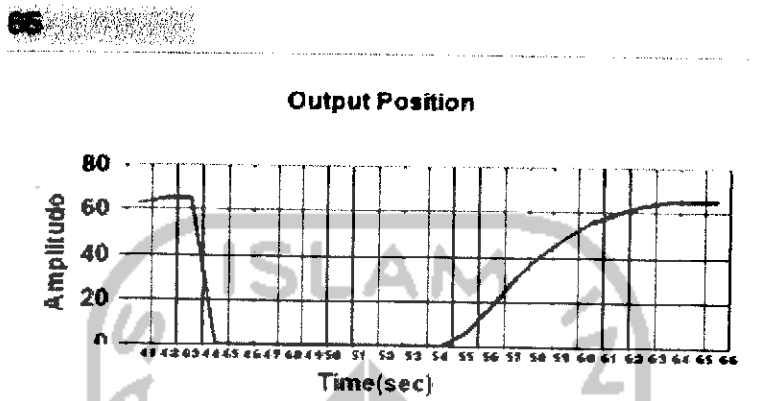


Gambar 4.8 Grafik ADC setelah di *Run*

Pada *setting point* selanjutnya maka diberikan masukkan nilai *setting point* yang berbeda hingga 50%, maka pengaruh dari *output* terdapat di semua kondisi yaitu pada data ADC, *steady state*, dan *rise time*. Semakin besar *setting point* yang kita masukkan maka semakin besar pula kondisi-kondisi yang dialami sistem.

4.3.2 Pengujian Sistem Kontrol PI

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan kontrol PI ini untuk melihat seberapa besar pengaruh kontrol PI terhadap sistem tanpa menambahkan kontrol D (*derivative*) didalam sistem tersebut. *Integral Controller* memiliki karakteristik mengurangi rise time, menambah *overshoot* dan *setling time*, serta menghilangkan



Gambar 4.9 Respon output sistem dengan Kp=70, Ki=8

Untuk membuat sistem stabil tanpa menambahkan kontrol Kd dipercobaan ini maka parameter Kp haruslah lebih besar daripada parameter Ki, apabila pemilihan Ki dan Kp tidak sesuai maka akan membuat sistem akan lambat mencapai error = 0 atau bahkan akan membuat sistem sedikit berisolasi.

Pengaruh kontrol PID pada valve keluaran air adalah ketika persamaan kontrol PID yang telah di masukkan pada sistem ini misalnya, sensor potensiometer menghitung setiap 1 detik atau lebih pendek, sehingga setiap 1 detik akan didapatkan posisi kontrol valve yang baru. Error pada persamaan PID dihitung dari perbedaan *set-point* dengan proses variabel. Jadi setiap 1 detik didapatkan *error* yang baru untuk dihitung oleh PID untuk menghasilkan manipulated variabel yang baru.

Manipulated variabel (MV) = aliran air keluaran yang diatur

Transmitter = pelampung untuk mengukur tinggi air