

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGATURAN TINGGI PERMUKAAN
CAIRAN UNTUK DUA TANGKI MENGGUNAKAN
PENGENDALI PROPORSIONAL**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Islam Nusantara

Disusun oleh:

ISHAK ABDUL ROJAK

41037002200006



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM NUSANTARA

2024

HALAMAN LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM PENGATURAN TINGGI PERMUKAAN CAIRAN UNTUK DUA TANGKI MENGGUNAKAN PENGENDALI PROPORTIONAL

LAPORAN TUGAS AKHIR

Ishak Abdul Rojak

41037002200006

TEKNIK ELEKTRO

Telah disetujui dan disahkan

Tanggal : 25 Juli 2024

Menyetujui,

Pembimbing



Dr. Iksal., M.T.

NIDN. 0405026404

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ganis Sanhaji, S.Si., M.Sc.

NIDN: 0402129002

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan sistem pengaturan tinggi permukaan cairan untuk dua tangki menggunakan pengendali proporsional (P). Sistem ini dirancang untuk menjaga ketinggian cairan pada level yang diinginkan dengan mengatur aliran masuk dan keluar cairan secara otomatis. Pengendali proporsional dipilih karena kesederhanaan dan efektivitasnya dalam banyak aplikasi pengendalian industri.

Proses perancangan diawali dengan pemodelan matematis sistem dua tangki, dilanjutkan dengan simulasi dan eksperimen untuk menentukan parameter kendali optimal. Nilai konstanta proporsionalitas (K_p) diatur berdasarkan respon sistem terhadap perubahan set point dan gangguan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem mencapai stabilitas dengan kesalahan kondisi tunak yang minimal dan waktu setup yang cepat. Meskipun terdapat sedikit overshoot dalam respon sistem, pengendali proporsional berhasil menjaga tinggi permukaan cairan sesuai dengan set point yang diinginkan.

Selain itu, analisis interaksi antar tangki menunjukkan bahwa pengaruh perubahan pada satu tangki terhadap tangki lainnya minimal, memungkinkan pengendalian yang efektif dan independen untuk masing-masing tangki. Penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa keterbatasan dari pengendali proporsional, seperti overshoot dan waktu penyetelan yang dapat diperbaiki dengan menggunakan pengendali yang lebih canggih seperti PID atau metode kontrol adaptif.

Kesimpulannya, pengendali proporsional merupakan solusi yang efektif untuk pengaturan tinggi permukaan cairan dalam dua tangki, namun pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Penelitian ini memberikan landasan yang kuat untuk implementasi lebih lanjut dan optimalisasi sistem kontrol fluida di lingkungan industri.

Kata Kunci : Pengendali Proporsional, Sistem Pengaturan Tinggi Permukaan Cairan, Dua Tangki, Stabilitas , Parameter.

DAFTAR ISI

HALAMAN LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
BAB II DASAR TEORI.....	3
2.1 Pendahuluan	3
2.2 Sistem Pengaturan Adaptif	3
2.2.1 Defenisi Sistem Pengaturan Adaptif	3
2.2.2 Diagram Blok Sistem Pengaturan Adaptif	4
2.2.3 Klasifikasi Sistem Pengaturan Adaptif.....	6
2.3 Sistem Pengaturan Adaptif Model Referensi	8
BAB III PERANCANGAN SISTEM	11
3.1 Pendahuluan	11
3.2 Konsep Dasar	11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
BAB V PENUTUP	23
5.1 Kesimpulan.....	23
DAFTAR PUSTAKA	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Diagram blok sistem pengaturan adaptif.....	4
Gambar 2. 2 Diagram blok sistem pengaturan adaptif dengan umpan maju	6
Gambar 2. 3 Diagram blok sistem pengaturan adaptif dengan umpan balik	7
Gambar 2. 4 Klasifikasi Sistem Pengaturan Adaptif dengan Umpan Balik.....	7
Gambar 2. 5 Sistem Pengaturan Adaptif Model Referensi	8
Gambar 3. 1 Tinggi permukaan cairan.....	12
Gambar 3. 2 Sistem Tinggi Permukaan Cairan dengan Interaksi	16
Gambar 4. 1 Grafik pergerakan ketinggian air.....	20
Gambar 4. 2 Grafik sinyal input Tangki 2 (q_{in}).....	21
Gambar 4. 3 Perubahan Gain K_p	21
Gambar 4. 4 Perubahan Gain Konstanta Propontional	22

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Nilai Parameter Sistem.....	18
---	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengaturan tinggi permukaan cairan dalam tangki merupakan salah satu aspek penting dalam banyak industri, seperti kimia, makanan dan minuman, farmasi, serta pengolahan air. Kontrol yang akurat dan stabil terhadap tinggi permukaan cairan sangat penting untuk memastikan kualitas produk, efisiensi proses, serta keamanan operasional. Kegagalan dalam mengatur tinggi permukaan cairan dapat menyebabkan berbagai masalah, termasuk kerugian material, gangguan proses produksi, dan bahkan risiko bahaya keselamatan.

Dalam sistem pengendalian modern, berbagai metode kontrol telah dikembangkan untuk mencapai pengaturan tinggi permukaan cairan yang optimal. Salah satu metode yang paling sederhana dan banyak digunakan adalah pengendali proporsional (P). Pengendali Proportional bekerja dengan memberikan aksi kontrol yang proporsional terhadap besarnya kesalahan antara nilai set point (tinggi permukaan cairan yang diinginkan) dan nilai aktual. Kelebihan dari pengendali Proportional adalah kemudahan dalam perancangan dan implementasinya, serta kemampuannya dalam memberikan respon yang cepat terhadap perubahan kondisi sistem [5].

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pengaturan tinggi permukaan cairan untuk dua tangki menggunakan pengendali proporsional. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai kinerja pengendali Propontial dalam aplikasi yang melibatkan dua tangki, serta identifikasi parameter kontrol yang optimal untuk mencapai hasil yang diinginkan. Hasil dari penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem kontrol cairan yang lebih efektif dan efisien di berbagai industri.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya menggunakan pengendali proporsional (P) untuk mengatur tinggi permukaan cairan dalam dua tangki, tanpa mempertimbangkan pengendali lain seperti PID atau metode kontrol adaptif..

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi penjelasan tentang latar belakang dari penulisan tugas akhir ini, maksud dan tujuan penulisan, ruang lingkup dan batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika pembahasan

BAB II : DASAR TEORI

Berisi uraian tentang pengendali proporsional adaptif metode estimasi (identifikasi), dan teori hukum-hukum fluida.

BAB III : PERANCANGAN SISTEM

Berisi tentang penerapan pengendali proporsional adaptif pada perancangan sistem tinggi permukaan cairan.

BAB IV : SIMULASI DAN HASIL SIMULASI

Berisi tentang beberapa gambar grafik yang didapat dari hasil simulasi dengan menggunakan simulasi pada komputer.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan yang diambil dari hasil simulasi dan analisa pengujian sistem.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

Pengaturan tinggi permukaan cairan dalam tangki adalah komponen penting dalam berbagai proses industri, yang memerlukan kontrol yang presisi untuk menjaga stabilitas dan efisiensi operasi. Sistem dengan dua tangki yang saling berhubungan menambah kompleksitas pengendalian karena interaksi antar tangki dapat mempengaruhi dinamika sistem secara keseluruhan. Pengendali proportional (P) adalah salah satu metode kontrol sederhana yang sering digunakan untuk mengatasi tantangan ini, karena kemampuannya dalam merespon secara langsung terhadap kesalahan antara nilai yang diinginkan dan nilai aktual [7].

Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem pengaturan tinggi permukaan cairan untuk dua tangki menggunakan pengendali proportional. Dengan memanfaatkan pengendali P, penelitian ini bertujuan untuk mencapai pengendalian yang stabil dan akurat, serta untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menjaga ketinggian cairan pada level yang diinginkan. Studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi dan reliabilitas dalam aplikasi kontrol cairan di industri.

2.2 Sistem Pengaturan Adaptif

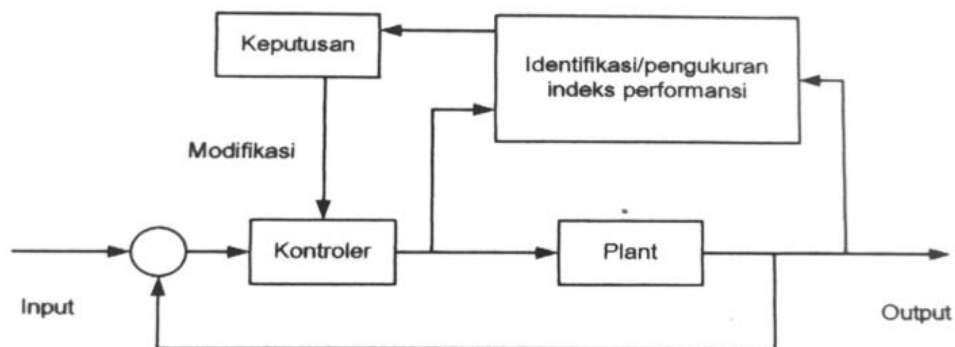
2.2.1 Defenisi Sistem Pengaturan Adaptif

Dari segi bahasa, adaptasi merupakan karakteristik dari organisme hidup dalam usaha menjaga keseimbangan fisiologis ditengah-tengah perubahan kondisi lingkungan sekelilingnya. Oleh karena itu pendekatan dalam desain atau perancangan sistem adaptif adalah meninjau aspek adaptif perilaku manusia, hewan maupun tumbuh-tumbuhan dan kemudian mengembangkan sistem yang mempunyai perilaku agak mirip [8].

Didalam buku *Modern Control Engineering* (Teknik Kontrol Otomatik) karangan Katsuhiko Ogata mendefenisikan sistem kontrol adaptif sebagai berikut: "**Sistem kontrol adaptif adalah sistem kontrol**

yang secara kontinyu dan otomatis mengukur karakteristik dinamik (seperti fungsi alih) plant, membandingkannya dengan karakteristik dinamik yang diinginkan dan menggunakan selisih ini untuk mengubah parameter sistem yang dapat diatur (biasanya karakteristik kontroler atau untuk membangkitkan sinyal penggerak sedemikian rupa sehingga dapat dijaga performansi tanpa menghiraukan perubahan lingkungan sekelilingnya". Agar disebut adaptif, maka harus ada cara ciri-ciri pengorganisasian diri (redesain diri). Jadi jika pengaturan parameter sistem hanya dilakukan berdasarkan pengukuran langsung dari sekelilingnya, maka sistem tersebut bukan tipe kontrol adaptif [4].

2.2.2 Diagram Blok Sistem Pengaturan Adaptif



Gambar 2. 1. Diagram blok sistem pengaturan adaptif

Pada sistem pengaturan adaptif ini, plant' diidentifikasi dan indeks performansi diukur secara kontinyu atau periodik. Setelah proses tersebut selesai maka indeks performansi yang diukur dibandingkan dengan indeks performansi optimal dan hasilnya digunakan dalam pengambilan keputusan untuk memodifikasi sinyal penggeraknya. Karena plant diidentifikasi didalam sistem sendiri maka pengaturan parameter-parameter merupakan operasi loop tertutup. Tugas atau fungsi dari kontroler pada sistem pengaturan adaptif ini adalah:

- Mengidentifikasi karakteristik dinamik 'plant'"Untuk mengidentifikasi karakteristik dinamik plant' dari sistem ini, harus dilakukan pengujian

dan analisa hasil dari pengujian tersebut. Identifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan data operasi normal dari 'plant' atau dapat menggunakan sinyal uji seperti sinyal sinusoidal.

- Didalam mengidentifikasi suatu plant', waktu harus sesingkat mungkin dibandingkan dengan laju perubahan sekelilingnya. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya perubahan variasi parameter pada 'plant'. Pengambilan keputusan yang didasarkan pada identifikasi 'plant'. Setelah 'plant diidentifikasi, kemudian hasilnya dibandingkan dengan karakteristik optimal, selanjutnya harus diambil keputusan bagaimana parameter yang dapat diatur harus diubah untuk menjaga performansi optimal. Keputusan ini biasanya diambil dengan menggunakan bantuan komputer.
- Melakukan modifikasi atau memberikan sinyal penggerak berdasarkan keputusan yang telah diambil.

Modifikasi merupakan perubahan sinyal kontrol sesuai dengan hasil identifikasi dan keputusan yang telah diambil. Pada sebagian besar sistem, pengambilan keputusan dan modifikasi secara konseptual merupakan operasi tunggal dimana modifikasi merupakan mekanisme perubahan sinyal keluaran keputusan menjadi sinyal kontrol (masukan 'plant'). Sinyal kontrol atau sinyal masukan plant' dapat dimodifikasi dengan dua cara yaitu:

- a. Pendekatan pertama adalah mengatur parameter kontroler untuk mengkompensasi perubahan dinamika plant yang disebut dengan modifikasi parameter kontrol.
- b. Pendekatan kedua adalah mensintesis atau menganalisa sinyal kontrol optimal berdasarkan fungsi alih 'plant' indeks performansi dengan respon transien yang diinginkan. Pendekatan kedua ini disebut dengan sintesis sinyal kontrol.

Pemilihan antara modifikasi parameter kontroler dengan sintesis sinyal kontrol pada dasarnya adalah sama. Jika keandalan merupakan masalah yang penting, misalnya pada pesawat ruang angkasa maka

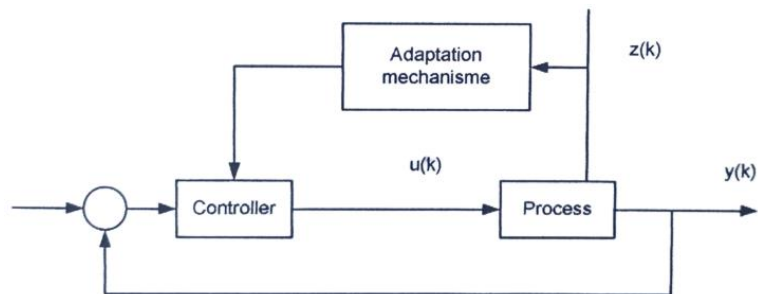
penggunaan adaptasi perubahan parameter akan lebih baik dibandingkan dengan sintesis sinyal kontrol. Tetapi bila terjadi penyempurnaan komponen terutama pada peralatan elektronik yang canggih maka pemilihan pendekatan kedua yaitu sistesis sinyal kontrol akan lebih baik dibandingkan dengan pendekatan yang pertama.

2.2.3 Klasifikasi Sistem Pengaturan Adaptif

Didalam buku "Adaptive Control System" karangan Rolf Isermann, Karl Meiz Lachmann, dan Drago Matko menyebutkan bahwa sistem pengaturan adaptif dibagi menjadi dua yaitu:

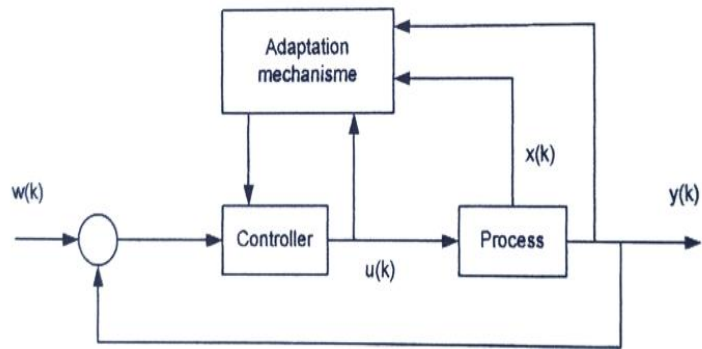
1. Sistem Pengaturan Adaptif dengan Umpan Maju (*Feedforward Adaptif Controller*)
2. Sistem Pengaturan Adaptif dengan Umpan Balik (*Feedback Adaptif Controller*)

Berikut ini dapat dilihat sistem pengaturan adaptif dengan umpan maju:



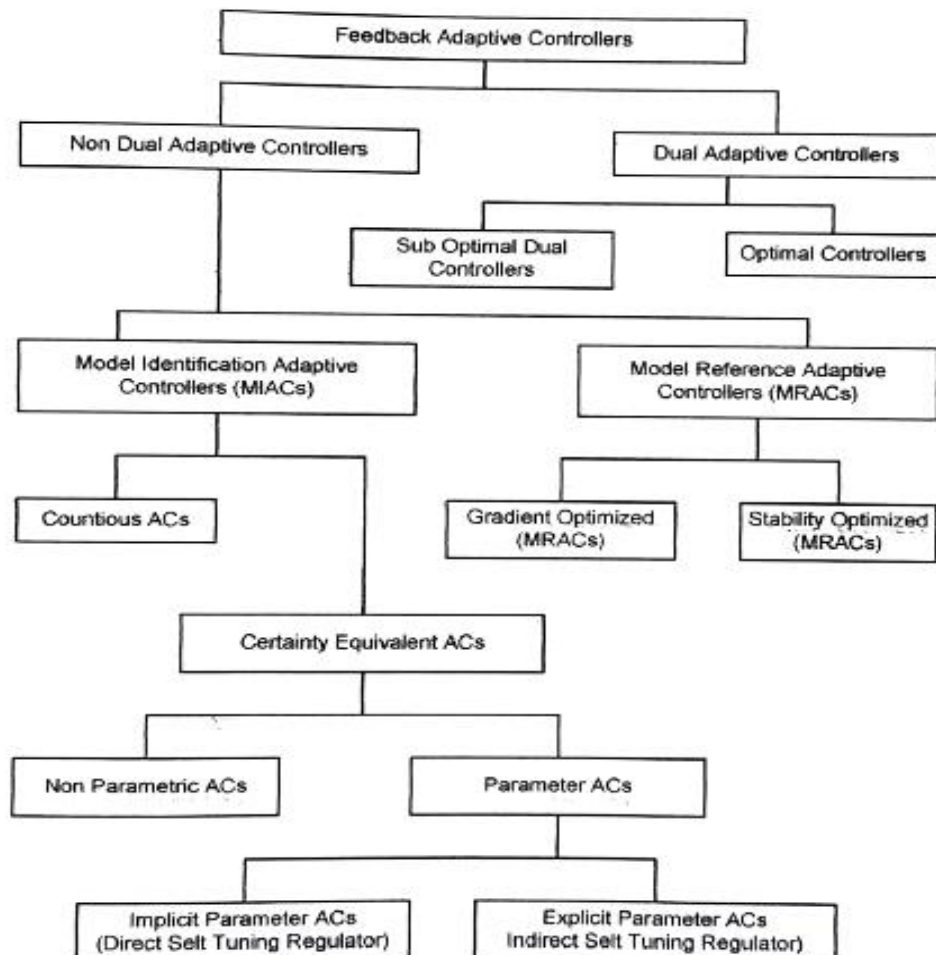
Gambar 2. 2 Diagram blok sistem pengaturan adaptif dengan umpan maju

Dibawah ini dapat dilihat sistem pengaturan adaptif dengan umpan balik:



Gambar 2.3 Diagram blok sistem pengaturan adaptif dengan umpan balik

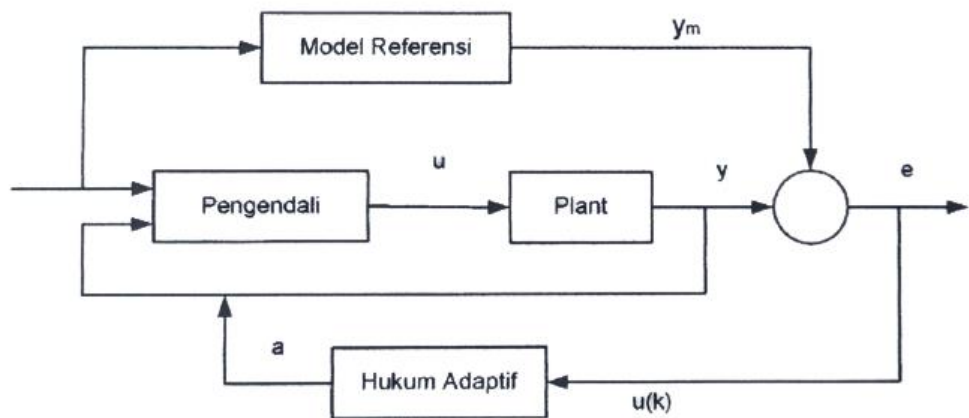
Untuk sistem pengaturan adaptif dengan umpan balik ini dibagi menjadi beberapa bagian. Untuk lebih jelasnya kita lihat struktur atau bagian-bagian tersebut dalam gambar berikut ini:



Gambar 2.4 Klasifikasi Sistem Pengaturan Adaptif dengan Umpan Balik

2.3 Sistem Pengaturan Adaptif Model Referensi

Sistem ini dikembangkan untuk mengatasi permasalahan servo, dengan spesifikasi diberikan dalam bentuk model referensi (acuan) yang menunjukkan bagaimana keluaran dari proses harus bereaksi terhadap sinyal perintah secara ideal. Di bawah ini dapat dilihat diagram blok untuk sistem pengaturan adaptif model referensi :



Gambar 2. 5 Sistem Pengaturan Adaptif Model Referensi

Keterangan gambar diatas adalah:

- Uc = eksternal input
- A = estimasi parameter
- y = output plant
- ym = output yang diharapkan
- e = error

Sistem pengaturan adaptif model referensi ini terdiri dari dua loop yaitu:

- Loop pertama adalah loop dalam yang terdiri atas blok proses dari plant dan pengendali (regulator).
- Loop kedua adalah loop luar yang bertugas untuk membandingkan antara output dari plant dengan output dari model referensi, yang selisih dari

hasil pengurangan tersebut kemudian digunakan untuk memberi informasi bagi penyusuaian parameter pengendali.

Sementara itu jika dilihat dari komponen penyusunnya, sistem tersebut terdiri dari empat komponen yaitu:

1. Plant, yang mengandung parameter yang tidak diketahui
2. Model Referensi, yang mengatur menspesifikasikan output yang diinginkan dari sistem pengaturan adaptif.
3. Feedback Hukum Pengaturan Adaptif, yang mengandung parameter yang dapat disesuaikan.
4. Mekanisme Adaptif (Pengendali), untuk mengendalikan parameter pengaturan.

Plant diasumsikan mempunyai struktur yang diketahui, walaupun parameternya tidak diketahui. Bagi plant linier, ini berarti bahwa jumlah pole dan zero diasumsikan diketahui tetapi lokasi dari pole dan zero tidak diketahui. Sedangkan bagi plant non linier, hal ini secara tidal langsung menyatakan bahwa struktur persamaan dinamis sistem diketahui tetapi parameter-parameternya tidak diketahui.

Model referensi digunakan untuk menspesifikasi respon ideal plant terhadap sinyal perintah dari luar. Secara intuitif, respon dari plant yang menggunakan mekanisme adaptif akan didapat dari penyesuaian parameternya. Pemilihan model referensi merupakan bagian dari desain sistem pengaturan adaptif [6].

Pemilihan model referensi ini harus mampu mencapai dua sasaran yaitu:

1. Model referensi harus merefleksikan spesifikasi performansi pengaturan seperti rise-time, settling-time dan over shoot.
2. Prilaku ideal ini harus dapat dicapai oleh sistem dengan pengaturan adaptif.

Pengendali biasanya diparameterkan dengan sejumlah parameter yang dapat dikendalikan. Pengendali harus mampu memberikan tracking yang sesuai sehingga memungkinkan tracking konvergen, ini berarti jika parameter plant diketahui secara pasti, parameter penengendali harus mampu membuat output

plant identik dengan output model referensi. Sedangkan bagi sistem yang parameter plantnya tidak diketahui, mekanisme adaptif akan mengendalikan parameter pengendali sehingga tracking yang sempurna dapat dicapai secara asimtotik. Desain pengaturan adaptif umumnya memerlukan parameter pengendali yang linier, untuk menghasilkan mekanisme adaptif yang menjamin kestabilan sistem dan tracking yang konvergen.

Mekanisme adaptif digunakan untuk mengendalikan parameter hukum pengaturan adaptif bagi sistem adaptif model referensi, hukum adaptif mengendalikan harga parameter sehingga respon plant sama dengan respon model referensi. Secara jelas dapat dikatakan bahwa yang membedakan antara pengaturan konvensional dengan pengaturan adaptif adalah adanya mekanisme adaptif ini. Tujuan utama dari pengaturan adaptif ini adalah mensintesa mekanisme adaptif sehingga dapat menjamin sistem secara keseluruhan tetap stabil dan tracking error menuju nol, secara teknis dilakukan penyesuaian parameter pengendali.

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3.1 Pendahuluan

Dalam sistem tinggi permukaan cairan, pertama-tama yang akan kita tinjau adalah hukum-hukum aliran fluida. Dalam menganalisa sistem yang melibatkan aliran fluida, kita perlu membagi daerah aliran menjadi dua aliran sesuai dengan besarnya bilangan Reynold yaitu :

- a. Aliran laminar, dengan bilangan Reynold lebih kecil atau kurang dari 2000.
- b. Aliran turbulen, dengan bilangan Reynold lebih besar dari 3000 sampai 4000.

Dalam hal aliran laminar, aliran fluida mengikuti garis-garis arus tanpa turbulensi. Sistem yang melibatkan aliran turbulensi sering kali harus dinyatakan dalam persamaan differensial non linier, sedangkan sistem yang melibatkan aliran laminar dapat dinyatakan dalam persamaan differensial linier [3].

Dalam proses-proses industri, seringkali melibatkan aliran cairan melalui pipa-pipa penghubung dengan tangki-tangki yang besar sebagai penampungnya. Aliran cairan yang digunakan dalam proses industri ini seringkali menggunakan aliran turbulen, bukan aliran laminar [2][1].

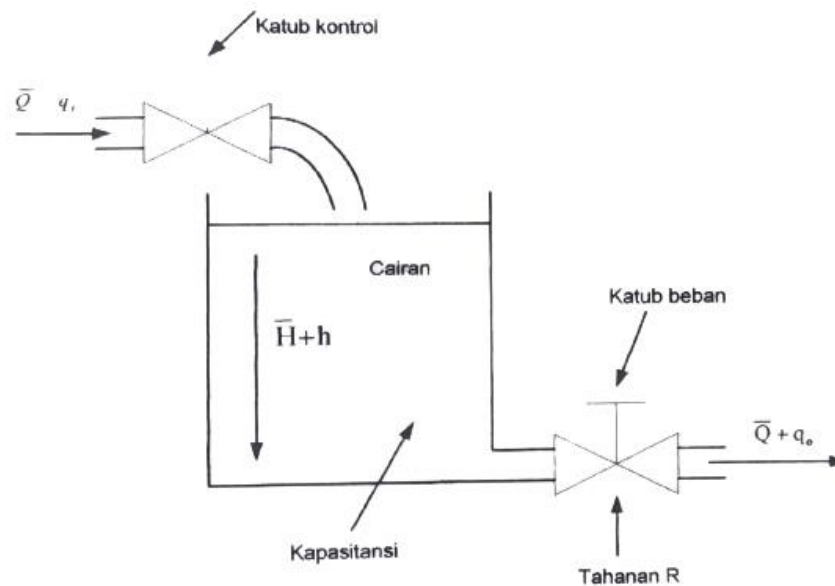
3.2 Konsep Dasar

Selanjutnya akan dibahas konsep dasar yang akan mendukung karakteristik dan sistem tinggi permukaan cairan yaitu tentang tahanan dan kapasitansi. Disini kita tinjau bahwa suatu aliran yang melalui suatu pipa pendek yang menghubungkan dua buah tangki atau bak penampung. Tahanan aliran cairan untuk suatu penghalang didefinisikan sebagai perubahan beda tinggi permukaan cairan di dua tangki yang diperlukan untuk menimbulkan satu-satu perubahan lagu aliran. Sehingga persamaan rumusnya dapat dituliskan sebagai berikut:

R = Perubahan beda tinggi permukaan (m) / Perubahan laju aliran (m' detik)

Karena hubungan antara laju aliran dengan beda tinggi permukaan aliran laminar dengan aliran turbulen berbeda, maka kita akan meninjau kedua kasus tersebut pada pembahasan berikut ini.

Tinjaulah sistem tinggi permukaan cairan yang ditunjukkan pada gambar 3.1 dengan sebuah tangki dan cairan keluar melalui katub beban disamping tangki.



Gambar 3.1 Tinggi permukaan cairan

Variabel-variabel yang terlihat dari gambar diatas, didefinisikan sebagai berikut:

- Q = Laju aliran keadaan tunak, pada kondisi sebelum terjadi perubahan (m' detik).
- q = Deviasi kecil dari laju aliran masuk dari harga keadaan tunaknya. (m' detik).
- q = Deviasi kecil dari laju aliran keluar dari harga keadaan tunaknya (m' detik).

- H =Tinggi tekan keadaan tunak pada kondisi sebelum terjadi perubahan (m).
- h =Deviasi kecil tinggi tekan dari harga keadaan tunaknya (m).

Jika aliran melalui penghalang ini laminar, maka hubungan antara laju aliran keadaan tunak dengan tinggi tekan keadaan tunak pada penghalang tersebut diberikan oleh persamaan:

$$Q=KH \quad (3.1)$$

Dimana persamaan (3.1) ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Q = laju aliran keadaan tunak cairan (m' detik)

K = koefisien (m² detik)

H = tinggi tekanan keadaan tunak (m)

Perhatikan bahwa hukum aliran laminar analog dengan hukum Coulomb, yang menyatakan bahwa arus berbanding langsung dengan beda potensial Untuk suatu aliran laminar, tahanan laminar (R) diperoleh persamaan:

$$R1= Dh/dQ=H/Q \quad (3.2)$$

Tahanan aliran laminar adalah konstanta analog dengan tahanan listrik. Jika aliran yang melalui penghalang adalah turbulen, maka laju aliran keadaan tunaknya diberikan persamaan sebagai berikut:

$$Q=K\sqrt{H} \quad (3.3)$$

Dimana dalam persamaan (3.3) ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Q = laju aliran keadaan tunak cairan (m' detik)

K = koefisien (m/detik)

H = tinggi tekanan keadaan tunak (m)

Sedangkan tahanan turbulen (R) untuk aliran turbulen diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$R1 = dH/Dq = 2H/Q \quad (3.4)$$

Harga tahanan aliran turbulen bergantung pada laju aliran dan tinggi tekan keadaan tunak.

Dengan menggunakan tahanan aliran turbulen, kita dapat melinierkan hubungan antara dH dan H . seperti yang telah diberikan persamaan (3.3). Linierisasi ini berlaku dengan syarat bahwa perubahan tinggi tekan dan laju aliran dari masing-masing harga tunaknya adalah kecil. Hubungan yang dilinierkan diberikan oleh :

$$Q = 2H / R1 \quad (3.5)$$

Harga R , dapat dianggap konstan jika perubahan tinggi tekan dan laju aliran adalah kecil. Dalam beberapa kasus praktis, harga koefisien K pada persamaan (3.3), yang bergantung pada koefisien aliran dan luas penghalang, tidak diketahui. Selanjutnya tahanan tersebut dapat ditentukan dengan menggambarkan kurva tinggi tekan terhadap laju aliran yang didasarkan pada data eksperimental dan mengukur kemiringan kurva pada titik kerja. Kapasitansi C dari suatu tangki di defenisikan sebagai perubahan jumlah cairan yang tersimpan, yang diperlukan untuk menimbulkan satu potensial (tinggi tekanan). Kapasitansi C ini dapat dinyatakan dalam defenisi dibawah ini :

$$C = \text{Perubahan cairan yang tersimpan (m)} / \text{Perubahan tinggi tekan (m)}$$

Sebagai catatan bahwa kapasitansi dinyatakan dalam satuan meter persegi (m) dan kapasitas dinyatakan dalam satuan meter kubik (m) Kapasitansi tangki sama dengan luas penampang lintangnya. Jika luas penampang besarnya konstan, maka kapasitansi adalah konstan untuk setiap tinggi tekan.

Seperti yang telah dinyatakan sebelumnya bahwa suatu sistem dapat dianggap linier jika alirannya adalah laminer. Sekalipun aliran turbulen, sistem dapat dilinierkan jika perubahan harga variabel-variabelnya adalah kecil.

Karena aliran masuk dikurangi aliran keluar selama waktu kecil dt adalah sama dengan jumlah penambahan cairan yang tersimpan dalam tangki, kita lihat bahwa:

$$Cdh = (q_1 - q_0)dt \quad (3.6)$$

Dari defenisi tahanan, hubungan antara q_0 dan h diberikan persamaan:

$$Rq_0 = h/R \quad (3.7)$$

Persamaan differensial sistem ini untuk harga R yang konstan menjadi

$$RC \frac{dh}{dt} + h = Rq, \quad (3.8)$$

Perhatikan bahwa RC adalah konstanta waktu. Dengan mencari Transformasi Laplace kedua ruas persamaan (3.8), dengan menganggap syarat awal nol, maka kita peroleh persamaan sebagai berikut:

$$(RCs - 1)H(s) - Rq_0s = RQ(s) \quad (3.9)$$

Dimana:

$$H(s) \text{ Laplace } [h]$$

$$Q(s) \text{ Laplace } [q]$$

Jika q , dianggap sebagai masukan dan sebagai keluaran, maka fungsi alih sistem adalah:

$$H(s)/Q(s) = R / (RCs + 1) \quad (3.10)$$

Meskipun demikian, jika q diambil sebagai keluaran dan masukannya masih sama, maka fungsi alihnya menjadi:

$$Q(s)/Q_1(s) = 1 / (RCs + 1) \quad (3.11)$$

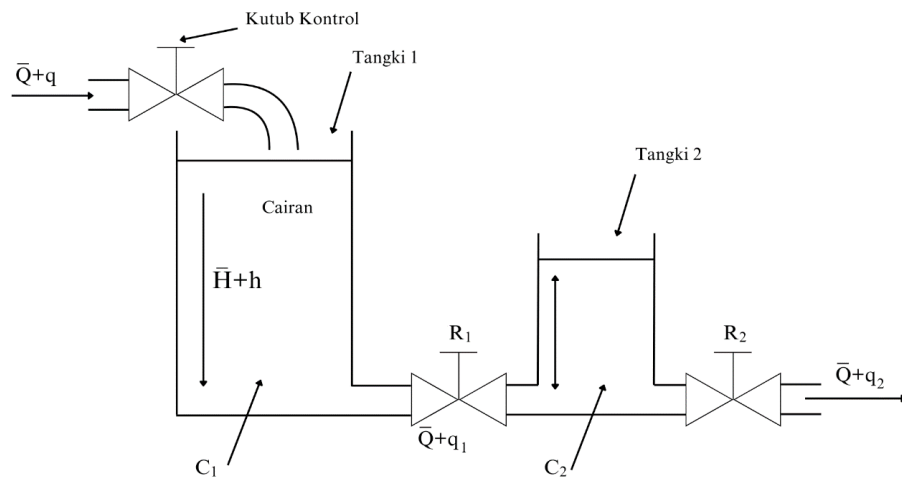
Dimana kita telah menggunakan hubungan:

$$Q(s) = 1/R H(s) \quad (3.12)$$

Sehingga dari persamaan (3.11) dapat dituliskan diagram blok sebagai berikut:

$$Q(1)Q.(s)1/RCS +1$$

Selanjutnya akan dijelaskan mengenai sistem tinggi permukaan cairan dengan interaksi. Tinggi permukaan cairan dengan interaksi ini terdiri dari dua bagian seperti pada gambar 3.2 dan dihubungkan. Dari hubungan ini maka akan didapatkan aturan-aturan hubungan yang baru. Untuk lebih memperjelaskan hal ini, maka dapat diberikan gambaran dibawah ini:



Gambar 3. 2 Sistem Tinggi Permukaan Cairan dengan Interaksi

Pada sistem ini, dua tangki tersebut saling berinteraksi. Dengan demikian fungsi alihnya tidak sama dengan hasil perkalian dua buah fungsi alih orde pertama atau dua kali fungsi laih pada gambar 3.1. Berikut ini kita hanya meninjau variasi variasi kecil dari harga-harga keadaan tunaknya. Dengan menggunakan simbol- simbol yang didefinisikan pada gambar (3.2), maka akan diperoleh persamaan sistem sebagai berikut:

$$H_1 - h_2 / R_1 = q_1 \quad (3.13)$$

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} = q_1 - q_2 \quad (3.14)$$

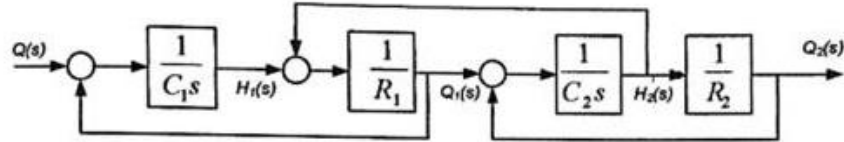
$$h_2 / R_2 = q_2 \quad (3.15)$$

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (3.16)$$

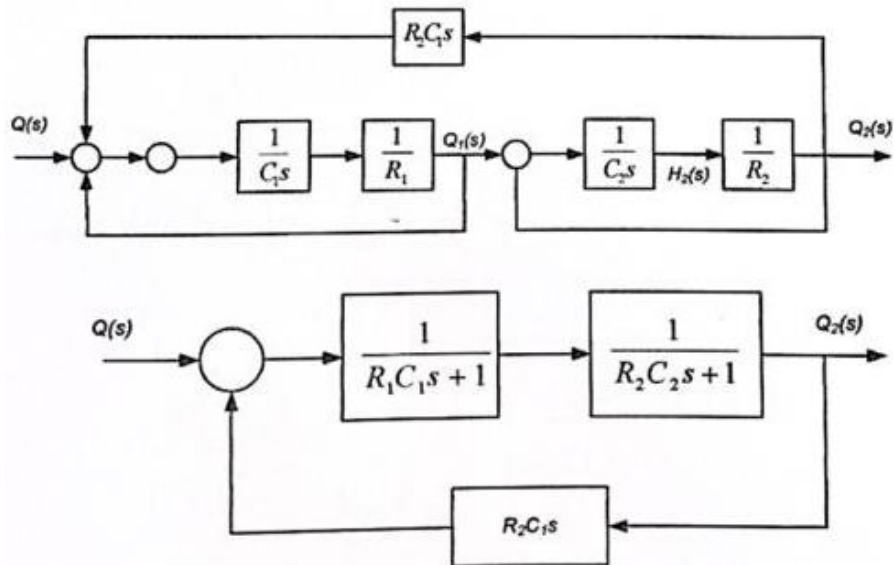
Jika q_1 merupakan masukan dan q_2 adalah keluaran, fungsi alih sistem adalah:

$$\frac{Q_2(s)}{Q(s)} = \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) s + 1} \quad (3.17)$$

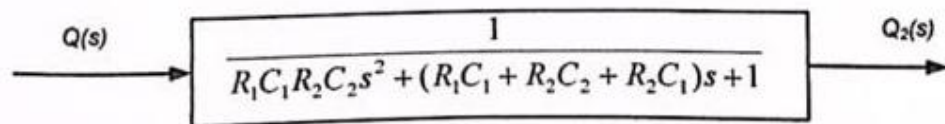
Sehingga penurunan dalam bentuk diagram bloknya dapat dijelaskan dalam gambar diagram blok sebagai berikut:



Selanjutnya dapat disederhanakan lagi menjadi dua buah diagram blok dibawah ini:

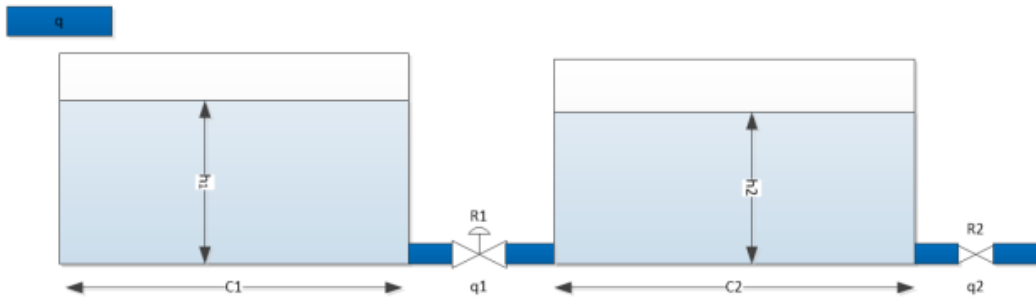


Dan bentuk yang paling sederhana dari sistem ini adalah sebagai berikut:



Bentuk ini adalah bentuk paling sederhana dari sistem fluida ini, dan sesuai dengan yang sudah diturunkan dalam fungsi transfer.

Pemodelan sistem dua tangki untuk sistem dua tangki seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 3.3 Sistem Dua Tangki

Pemodelan untuk tanki 1 yaitu

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} = q - q_1 \quad (1)$$

Dimana $\frac{h_1 - h_2}{R_1} = q_1 \quad (2)$

Maka $R_1 C_1 \frac{dh_1}{dt} = R_1 q - h_1 - h_2 \quad (3)$

Pada tanki 2,

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (4)$$

dimana $\frac{h_2}{R_2} = q_2 \quad (5)$

diperoleh $R_2 C_2 \frac{dh_2}{dt} + \frac{R_2}{R_1} h_2 + h_2 = \frac{R_2}{R_1} h_1$

dan dengan substitusi nilai h1 dari pers (3) maka diperoleh :

$$h_2(s)(C_1 R_1 C_2 R_2 S^2 + C_1 R_1 S + R_2 C_1 S + C_2 R_2 S + 1) = R_2 Q_{in}(s) \quad (6)$$

Dalam bentuk fungsi alih yaitu

$$\frac{h_2(s)}{q} = \frac{R_2}{C_1 R_1 C_2 R_2 S^2 + S(C_1 R_1 + C_2 R_2 + C_2 R_2) + 1} \quad (7)$$

Tabel 3. 1. Nilai Parameter Sistem

Parameter	Nilai	Satuan
h1	30.0	cm2
h2	15.0	cm2
R1	0.010	cm2/detik
R2	0.010	cm2/detik
C1	250.0	cm
C2	250.0	cm

Adapun metode yang digunakan pada paper ini adalah metode PID dengan gain Konstanta Proporsional (K_p), Integral (K_i), yang mampu melakukan penalaan sendiri sesuai keadaan plant. Sehingga PID mampu menyesuaikan sinyal input dengan kebutuhan plant agar dapat mengikuti referensi yang diberikan dengan minimum error.

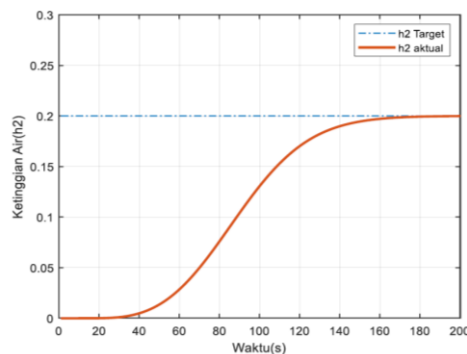
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, hasil diperoleh dengan menggunakan simulasi pada komputer. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode Adaptive Proportional digunakan untuk dua buah keadaan.

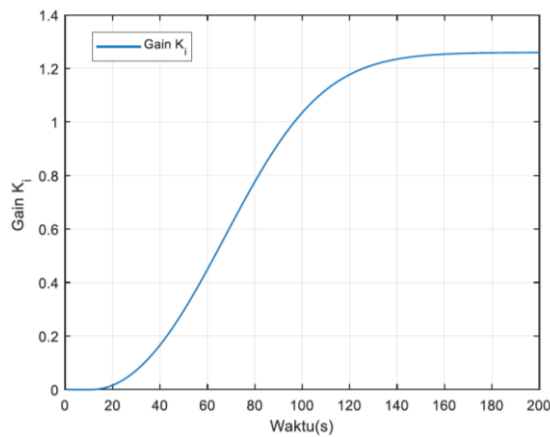
- Skenario #1 merupakan keadaan dimana akan dilakukan pencarian gain Proportional pada saat sistem baru dimulai dengan gain awal $K_p = 0$. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kemampuan Adaptive Integral dalam mencari gain Proportional ketika sistem baru mulai bekerja.
- Skenario #2 merupakan keadaan dimana akan dilakukan pencarian gain Proportional dengan kondisi sistem sudah *steady state* namun kemudian terdapat gangguan atau perubahan parameter yang tidak diketahui. Gain Proportional awal yang digunakan adalah gain Proportional terbaik dari skenario #1. Sedangkan gangguan yaitu berkurangnya nilai parameter C yang merupakan luas penampang tanki, hal ini dikarenakan oleh penambahan material lain yang juga akan mempengaruhi volume tanki. Besar nilai pengurangan luas pada tanki 2 adalah sebesar -15%. Sistem akan diuji apakah sistem dapat kembali ke kondisi *steady state* atau tidak.

Pengujian simulasi dilakukan dengan waktu 200 detik, dan diperoleh hasil pengujian dengan menggunakan target ketinggian akhir sebesar 0.2 dari maksimum ketinggian adalah 0,3 pada skenario #1 seperti yang ditampilkan pada Gambar 1 :



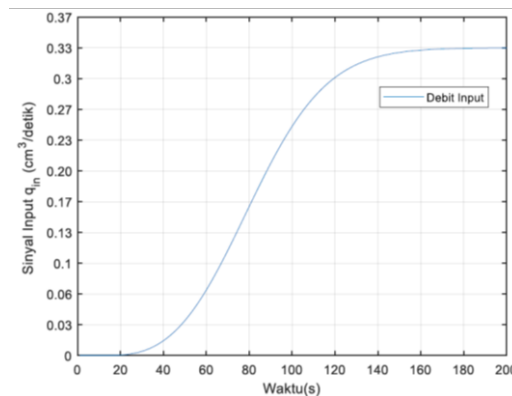
Gambar 4. 1 Grafik pergerakan ketinggian air

Pada gambar diatas menunjukkan grafik pergerakan ketinggian air terhadap waktu, dari grafik dapat dilihat bahwa ketinggian air mencapai target pada detik ke 170. Sedangkan grafik Pengisian air mulai muncul pada detik ke 16. Hal ini dikarenakan gain awal K_p bernilai 0, sehingga membuat pengisian awal dengan pembukaan kran yang sangat kecil karena sinyal input yang diberikan juga kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



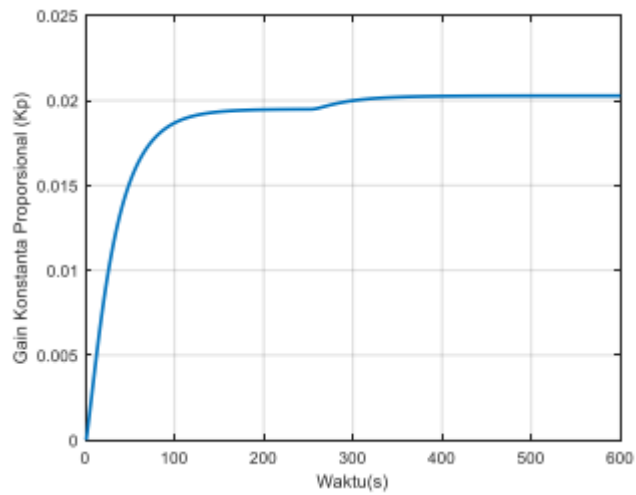
Gambar 4. 2 Grafik sinyal input Tangki 2 (q_{in})

Pada Gambar 3 merupakan grafik perubahan gain Konstanta Propontional (KP) terhadap waktu, dari gambar menunjukkan nilai gain KP berhenti berubah pada nilai $K_p=1.26$.



Gambar 4. 3 Perubahan Gain K_p

Dari hasil percobaan diatas menunjukkan bahwa gain paling optimal adalah pada $K_p = 0.029$.



Gambar 4. 4 Perubahan Gain Konstanta Propontional

Pada Gambar 4 merupakan grafik pergerakan gain Konstanta Proportional, terlihat gain mengalami perubahan ketika terjadi gangguan pada detik ke 250. Hal ini menunjukkan bahwa metode adaptive mampu menyesuaikan keadaan supaya luaran sistem menjadi lebih baik[9].

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini merupakan penggunaan metode kendali Proportional adaptive untuk mengendalikan volume 2 tanki telah dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pengendali Proportional efektif dalam menjaga kestabilan dan akurasi tinggi permukaan cairan sesuai dengan set point yang diinginkan, meskipun terdapat keterbatasan seperti kesalahan steady-state dan potensi overshoot. Secara keseluruhan, sistem yang dirancang dapat berfungsi dengan baik, namun perbaikan lebih lanjut, seperti penggunaan pengendali PID atau metode kontrol lainnya, dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kinerja sistem. Penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut dalam aplikasi kontrol cairan di berbagai industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Astrom,K.J.and B.Wittenmark,"*Adaptive Control* 2nd ed.",USA Addison-Wesley Publishing Company,Inc.1995.
- [2]. Astrom,K.J.and B.Wittenmark,"*Theory and Design*,2nd ed",USA:Addison - Wesley Publishing Company,Inc.,1990.
- [3]. Bernard Widrow and Samuel.D Stearns,"*Adaptive Signal Processing*"Prentice-Hall,Inc.,1985.
- [4]. Ibrahim Nawawi,"Implementasi persamaan *Diopanthin* Pada Sistem Kendali Adaptif Skema *Self Tuning regulator*",Vol.32,No.2,Agustus 2002,<https://media.neliti.com>.
- [5]. Muhammad Syarif,Iksal,"Simulasi Kendali Adaptif Untuk Kestabilan Tinggi Permukaan Cairan",Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ST.INTEN Bandung,2007.
- [6]. Ogata.K," *Discrete Time Control Systems*", Prentice-Hall.,Englewood Cliffs,N.J,1987.
- [7]. Ogata.K," *Modern Control Engineering* " ,Prentice-Hall.,Englewood Cliffs,N.J,1970.
- [8]. Yuqin.W,Haodong.Z,Zhibo.H,Xiaoqiang.Ni,"Perancangan Optimasi Sistem Kendali Aliran Pompa Sentrifugal Berbasis kendali Adaptif",Sekolah Teknik Mesin,Universitas Chaohu,Agustus 2021.
- [9]. Anisa, U. D., & Swadexi, I. (2021). Sistem Kontrol Ketinggian Air pada Sistem Dua Tanki dengan Menggunakan Metode Proporsional Integral (PI) Adaptif. JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional), 7(1), 37-44.