



TUGAS AKHIR - TE141599

PENGENDALI TEMPERATUR FLUIDA PADA *HEAT EXCHANGER* DENGAN MENGGUNAKAN *GENERALIZED PREDICTIVE CONTROL (GPC)*

Jhonson Freddy Tambunan
NRP 2213 106 049

Dosen Pembimbing
Ir. Rusdhianto Effendie A.K., MT.
Eka Iskandar, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE141599

DESIGN FLUIDA TEMPERATURE CONTROL IN HEAT EXCHANGER USING GENERALIZED PREDICTIVE CONTROL (GPC)

Jhonson Freddy Tambunan
NRP 2213 106 049

Advisor
Ir. Rusdhianto Effendie A.K., MT.
Eka Iskandar, ST., MT.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2016

**PENGENDALI TEMPERATUR FLUIDA PADA *HEAT EXCHANGER*
DENGAN MENGGUNAKAN *GENERALIZED PREDICTIVE
CONTROL (GPC)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Rusdhianto Effendie A.K., MT.
NIP. 1957 04 24 1985 02 1001



Eka Iskandar, ST., MT.
NIP. 19800528 200812 1001



**SURABAYA
JANAURI, 2016**

Pengendali Temperatur Fluida pada Heat Exchanger dengan Menggunakan Generalized Predictive Control (GPC)

Name	:Jhonson Freddy Tambunan	NRP: 2213106049
Consultor	:Ir. Rusdhianto Effendie A.K, MT Eka Iskandar, ST .MT	NIP :195704241985021001 NIP :198005282008121001

ABSTRAK

Heat Exchanger adalah alat penukar kalor yang berfungsi untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda temperature dan dipisahkan oleh suatu sekat pemisah. Proses perpindahan panas ini dapat diatur agar diperoleh temperatur fluida sesuai dengan kriteria yang diinginkan agar tidak terdapat energi yang terbuang, sehingga pemanfaatan sumber energi yang tersedia benar-benar dapat lebih optimal. Namun untuk dapat mencapai kriteria sebagaimana dimaksud diatas tidaklah mudah, hal ini dikarenakan adanya *delay time* dalam proses pengukuran sinyal respon dari *Heat Exchanger*, karena itu perlunya suatu sinyal kontrol yang dapat mengetahui dinamika plant secara real time dan memberikan sinyal kontrol yang sesuai untuk setiap perubahan dinamika tersebut. Adapun metode kontroler yang cocok digunakan adalah prediktif. Salah satu metode prediktif ini dengan menggunakan *Generalized Predictive Control (GPC)*. Dengan menggunakan kontroler ini hasil pengukuran sinyal dengan Kontroler GPC dapat menghasilkan respons yang stabil dengan waktu yang lebih cepat dan sesuai nilai *setpoint* yang diinginkan yaitu 70°C.

Kata Kunci : *Heat Exchanger, Generalized Predictive Control (GPC)*

Design Fluida Temperature Control in Heat Exchanger Using Generalized Predictive Control (GPC)

Name	: Jhonson Freddy Tambunan	NRP: 2213106049
Consultor	: Ir. Rusdhianto Effendie A.K, MT Eka Iskandar, ST .MT	NIP : 195704241985021001 NIP : 198005282008121001

ABSTRACT

Heat exchanger is a processing instrument, has function to transfer heat between two fluids of different temperature and separated by a partition screen. This heat transfer process can be set in order to obtain the temperature of the fluid in accordance with the desired criteria so that there are no energy iswasted, so the utilization of available energy sources can truly to be optimized. But in order to achieve the criteria referred to above is not easy, this is due to the delay time in the process of measuring the response signal of a Heat Exchanger, hence the need for a control signal which can determine the dynamics of the plant in real time and provides a control signal corresponding to each change that dynamics. The controller suitable method is predictive. One of this predictive method by using Generalized Predictive Control (GPC). By using this controller the results of the measurement signal to the controller GPC can produce a stable response with the faster time and the corresponding values desired setpoint of 70 °C.

Keywords : *Heat Exchanger, Generalized Predictive Control (GPC)*

PERNYATAAN KEASLIAN

TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "*Pengendali Temperatur Fluida pada Heat Exchanger Generalized Predictive Control (GPC)*" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan hasil karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2016

Jhonson Freddy Tambunan

NRP. 2213 106 049

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah banyak memberikan nikmat dan kesempatan yang lebih sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini, dengan judul “*Pengendali Temperatur Fluida pada Heat Exchanger dengan menggunakan Generalized Predictive Control (GPC)*”.Semoga Tugas akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya serta mahasiswa Jurusan Teknik Elektro. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua saya yang selalu mendukung lewat telepon dan dalam doa mereka masing-masing.
2. Bapak Ir. Rusdhianto Effendie A.K., MT., selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Eka Iskandar, ST, MT, selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberi banyak ilmu dan arahan, semoga bapak sehat selalu dan semakin diberkati Tuhan beserta keluarganya.
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro –ITS, yang telah memberikan banyak waktu dan memberikan ilmu yang luar biasa serta motivasi dalam memahami setiap ilmu yang dipelajari.
4. Teman-teman seperjuangan TA, Febrian Fathoni dan Wahyu Eko Phasa serta teman-teman Lintas Jalur angkatan 2013 Genap khususnya Prodi Teknik Sistem Pengaturan yang telah banyak memberikan masukan serta mengenalkan banyak hal yang baik dan semangat serta tawa canda yang luar biasa, sukses selalu untuk kita semua kawan.
5. Teman-teman kosan, Danar, Daniel, Fitra, Grecio dan Mas DGLISH yang selalu menemani aktivitas dikosan sehari-hari dengan kejutan-kejutan dan canda tawa yang tidak terduga, makasih kawan untuk semua fasilitas yang ada dikosan.

Dalam menyusun tugas akhir ini, penulis berharap semoga nantinya tugas akhir ini bermanfaat jikapun ada kekurangan, saran serta kritik penulis harapkan. Terima Kasih.

Surabaya, Januari 2016

Jhonson Freddy Tambunan

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan dan Manfaat	2
1.4 Metodologi	2
1.5 Sistematika Laporan	3
1.6 Relevansi	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Perpindahan Kalor	5
2.2 Heat Exchanger	6
2.2.1 Prinsip Kerja <i>Heat Exchanger</i>	7
2.2.2 <i>Heat Exchanger</i> berdasarkan arah aliran fluida	8
2.2.3 <i>Heat Exchanger</i> berdasarkan kontruksi permukaan	11
2.3 Sistem Kontrol Prediktif	15
BAB III PERANCANGAN SISTEM	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Identifikasi Kebutuhan Sistem	20
3.3 Perancangan Simulasi <i>Heat Exchanger</i>	20
3.4 Perancangan dan Pemodelan <i>Plant</i>	21
3.4.1 Linearisasi Pemodelan	26
3.5 Perancangan Kontroler GPC	29
3.6 Desain Prediktif	33
BAB IV ANALISA DATA	35
4.1 Simulasi Sistem Heat Exchanger	35
4.1.1 Simulasi Plant Diskrit	37

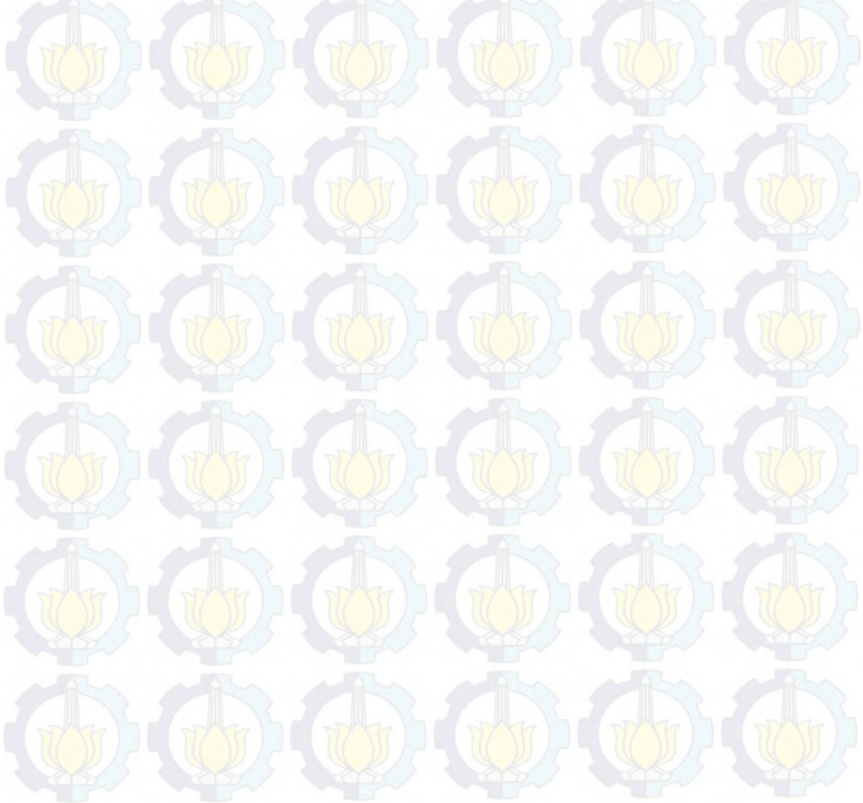
4.2 Simulasi dengan menggunakan Kontroler GPC	38
4.2.1 Kontroler GPC prediksi 1	39
4.2.2 Kontroler GPC prediksi 2	41
4.2.3 Kontroler GPC prediksi 3	43
4.2.4 Kontroler GPC prediksi 4	45
4.2.5 Perbandingan Kontroler GPC prediksi 1234 pada Temperatur 30°C	47
4.2.6 Perbandingan Kontroler GPC prediksi 1234 pada Temperatur 50°C	49
4.2.7 Perbandingan Kontroler GPC prediksi 1234 pada Temperatur 70°C	51
BABV PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Heat Exchanger Parallel Flow.....	9
Gambar 2.2	Sketsa Heat Exchanger Parallel Flow	9
Gambar 2.3	Diagram <i>Heat Exchanger Counter-Current Flow</i>	10
Gambar 2.4	Sketsa <i>Heat Exchanger Counter-Current Flow</i>	11
Gambar 2.5	<i>Heat Exchanger Tipe Shell dan Tube</i>	11
Gambar 2.6	Diagram Blok GPC.....	16
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2	Pembagian zona Heat Exchanger.....	22
Gambar 3.3	Aliran Fluida Panas dan Dingin.....	22
Gambar 3.4	Blok Diagram Plant <i>Heat Exchanger Nonlinear</i>	25
Gambar 3.5	Tampilan Hasil Simulasi <i>Plant Heat Exchanger Nonlinear</i>	26
Gambar 3.6	Tampilan block diagram pendekatan Armax	27
Gambar 3.7	Respons Pendekatan ARMAX Orde ke-2.....	28
Gambar 3.8	Respons Pendekatan ARMAX Orde ke-3.....	28
Gambar 3.9	Respons Pendekatan ARMAX Orde ke-4.....	29
Gambar 4.1	Diagram <i>Plant Nonlinear Open loop</i>	35
Gambar 4.2	Respon <i>Plant Nonlinear Heat Exchanger</i>	36
Gambar 4.3	Respons Pendekatan ARMAX Orde ke-2 ke plant	37
Gambar 4.4	Plant Heat Exchanger dengan kontroler GPC.....	38
Gambar 4.5	Hasil simulasi Prediksi 1 menggunakan kontroler GPC dan tanpa kontroler	39
Gambar 4.6	Hasil simulasi Prediksi 2 menggunakan kontroler GPC dan tanpa kontroler	41
Gambar 4.7	Hasil simulasi Prediksi 3 menggunakan kontroler GPC dan tanpa kontroler	43
Gambar 4.8	Hasil simulasi prediksi 4 menggunakan kontroler GPC dan tanpa kontroler	45
Gambar 4.9	Hasil simulasi prediksi 1234 pada temperature 30°C.....	47
Gambar 4.10	Hasil simulasi prediksi 1234 pada temperature 50°C	49
Gambar 4.11	Hasil simulasi prediksi 1234 pada temperature 30°C	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Persamaan Koefisien pada plant <i>Heat Exchanger</i>	24
Tabel 4.1 Respon GPC prediksi 1.....	39
Tabel 4.2 Respon GPC prediksi 2.....	41
Tabel 4.3 Respon GPC prediksi 3.....	43
Tabel 4.4 Respon GPC prediksi 4.....	45
Tabel 4.5 Perbandingan GPC 1234 pada temperatur 30°C	48
Tabel 4.6 Perbandingan GPC 1234 pada temperatur 50°C.....	50
Tabel 4.7 Perbandingan GPC 1234 pada temperatur 70°C	52



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada dunia industri seperti industri yang menggunakan proses kimia masalah perpindahan energi atau panas adalah hal yang sangat sering dilakukan. Maka dapat dikatakan bahwa unit *heat exchanger* merupakan salah satu proses di lingkungan industri yang sangat diperlukan sebagai sarana perpindahan panas. Salah satu contoh industri yang memanfaatkan *Heat Exchanger* sebagai alat penukar panas adalah industri pengolahan pupuk urea dengan bahan baku amoniak (NH_3) dan gas CO_2 . Dengan berjalannya perkembangan teknologi, dibutuhkan proses perpindahan panas dalam jumlah besar sehingga dengan besarnya penukaran panas yang diberikan maka besar pula luas permukaan.

Heat exchanger [3] adalah alat penukar kalor yang berfungsi untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda temperature dan dipisahkan oleh suatu sekat pemisah. Proses perpindahan panas ini dapat diatur agar diperoleh temperatur fluida sesuai dengan kriteria yang diinginkan agar tidak terdapat energi yang terbuang, sehingga pemanfaatan sumber energi yang tersedia benar-benar dapat lebih optimal. Namun untuk dapat mencapai kriteria sebagaimana dimaksud diatas tidaklah mudah, hal ini dikarenakan adanya *delay time* dalam proses pengukuran sinyal respon dari *Heat Exchanger*, karena itu perlunya suatu sinyal kontrol yang dapat mengetahui dinamika plant secara real time dan memberikan sinyal kontrol yang sesuai untuk setiap perubahan dinamika tersebut. Adapun metode kontroler yang cocok digunakan adalah prediktif. Salah satu metode prediktif ini dengan menggunakan *Generalized Predictive Control (GPC)* dan dibantu dengan menggunakan *software matlab* serta kinerja yang dihasilkan diperlihatkan oleh beberapa hasil simulasi.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang ditinjau dari penelitian ini adalah masalah pada *delay time* ketika sedang dilakukan proses pengukuran sinyal respons *Heat Exchanger*, sehingga memberikan kesan pada model kontrol biasa tidak dapat bekerja sesuai dengan kriteria, karena respons selalu terlambat dari model *reference* yang diharapkan. Oleh karena itu dengan menggunakan *Generalized Predictive Kontrol* (GPC) sebagai kontroler diharapkan mampu mengatasi permasalahan tersebut, karena nilai keluaran dari proses yang berlangsung didalam *Heat Exchanger* dapat diprediksi sehingga dapat diperoleh respons sesuai dengan yang diinginkan.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengendalikan keluaran temperatur fluida terhadap *setpoint* yang diinginkan dengan memprediksi hasil keluaran agar sinyal kontrol yang diberikan ke proses dapat diminimalisasi. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan pada peneliti selanjutnya dalam mengembangkan suatu *tuning strategy* yang baik dalam pengendalian GPC serta dapat memberikan kontribusi pada penelitian selanjutnya

1.4 Metodologi

Pelaksanaan Tugas Akhir ini terbagi atas beberapa tahap dengan rincian sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Sebagai landasan dalam melakukan penulisan, diperlukan teori penunjang yang baik mengenai ilmu dasar, metode penelitian, teknik analisis maupun teknik penulisan. Teori penunjang dapat diperoleh dari media cetak (buku/*paper*), jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional, serta media online. Tahap ini dapat dilakukan di mana saja dan dilakukan sepanjang proses pengerjaan tugas akhir hingga menjelang penulisan buku.
2. Permodelan Sistem
Pada tahap ini, dicari perumusan model matematika pada *plant Heat Exchanger*. Permodelan adalah salah satu hal yang paling penting dalam pengerjaan Tugas Akhir. Jika permodelan yang

diperoleh tidak tepat, analisis sistem yang dihasilkan pun menjadi tidak tepat. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan dalam perancangan kontroler.

3. Perancangan *Simulink Plant*
Setelah memperoleh model matematika yang sesuai maka langkah selanjutnya adalah merancang model matematika ke dalam *Simulink* karena dapat mempengaruhi pengerjaan pada tahap selanjutnya.
4. Perancangan Kontroler
Kontroler yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah *Generalized Predictive Control (GPC)*. Perancangan kontroler dapat dilaksanakan setelah sinyal respons dapat mengetahui bagaimana respons mendatang sehingga *delay* dan gangguan yang terjadi dapat diminimalisir bahkan dihindari.
5. Metoda simulasi
Membuat simulasi model sesuai dengan *real plant*, dan memberikan sinyal gangguan untuk melihat kinerja dari kontroler yang telah dirancang.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini disusun dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi.

BAB II : DASAR TEORI

Bab ini memaparkan teori-teori dasar yang dalam menyelesaikan masalah dan pengerjaan Tugas Akhir ini. Beberapa teori tentang dasar *Heat Exchanger*, *Generalized Predictive Control*, *Matlab*.

BAB III : PERANCANGAN SISTEM

Pada Bab ini dibahas mengenai perancangan sistem secara detail meliputi perancangan perangkat lunak (*software*) termasuk perancangan kontroler *GPC*

BAB IV : ANALISA DATA

Bab ini menunjukkan tentang hasil penelitian dan analisa pada plant *Heat Exchanger* menggunakan metode *GPC* dan menggunakan software Matlab serta ditampilkan oleh beberapa simulasi.

BAB V : P E N U T U P

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan sebelumnya yang sudah diperoleh.

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk perancangan suatu simulasi pada *plant* yang terdapat di industri dan juga dapat digunakan dalam dunia perkuliahan, serta dapat menjadi referensi dalam penggunaan metode *Generalized Predictive Control(GPC)* untuk pengaturan *Heat Exchanger* yang termodifikasi dan dapat digunakan secara optimal di masa mendatang.

BAB II

DASAR TEORI

Pada bab ini akan dibahas tentang teori – teori yang berhubungan dalam menyelesaikan penelitian dan proses pengerjaan Tugas Akhir. Beberapa teori dasar mengenai *Heat Exchanger* serta model matematika *Heat Exchanger* yang dapat membantu penyelesaian Tugas Akhir ini diantaranya adalah suatu proses perpindahan panas, prinsip kerja *Heat Exchanger*, struktur kontroler *Generalized Predictive Control (GPC)*.

2.1 Perpindahan Kalor

Panas atau kalor adalah salah satu bentuk energi, yaitu energi panas. Jika suatu benda melepaskan kalor pada benda lain maka kalor yang diterima benda lain sama dengan kalor yang dilepas benda itu. Pernyataan ini disebut juga sebagai Asas Black, yaitu jumlah kalor yang dilepas sama dengan kalor yang diterima. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk yang pertama ke bentuk yang kedua. Panas dapat berpindah melalui radiasi, konveksi dan konduksi. Media yang digunakan dalam perpindahan panas bisa berupa zat padat, cair maupun udara (gas) Proses perpindahan kalor dapat terjadi karena beberapa hal antara lain :

a. Pancaran (Radiasi)

Pancaran (radiasi) ialah perpindahan panas tanpa zat perantara. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor secara radiasi terjadi dengan perantara foton dan juga gelombang elektromagnet. Contoh paling mudah dari perpindahan panas secara radiasi adalah pancaran sinar matahari. Matahari memancarkan panasnya sehingga sampai ke permukaan bumi melalui ruang hampa. Di ruang hampa tidak ada zat yang dapat dilalui dan juga tidak ada zat yang dapat mengalir. Panas matahari tersebut sampai ke bumi secara langsung atau secara pancaran tanpa melalui zat perantara. Ciri-ciri radiasi yaitu kalor radiasi merambat lurus tanpa diperlukan suatu medium, misalnya zat cair ataupun gas.

b. Konduksi

Konduksi ialah perpindahan panas melalui benda padat. Benda yang dapat menghantarkan panas dengan baik disebut konduktor. Pada umumnya, konduktor terbuat dari logam. Perpindahan kalor dengan cara konduksi disebabkan karena partikel-partikel penyusun zat yang bersentuhan dengan sumber kalor bergetar. Semakin besar getaran yang ditimbulkan, maka energi kinetik yang dihasilkan akan semakin

besar. Energi kinetik yang besar menyebabkan partikel tersebut menyentuh partikel di dekatnya, demikian seterusnya hingga akhirnya terbentuk panas. Bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik dinamakan konduktor sedangkan penghantar kalor yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat. Untuk bahan isolator, koefisien ini bernilai kecil. Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna (logam) merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya.

c. Aliran (konveksi)

Konveksi adalah perpindahan panas karena terjadinya perpindahan zat. Peristiwa konveksi atau aliran zat terjadi pada perubahan suhu suatu zat. Contohnya adalah air yang sedang direbus. Zat cair dan gas yang terkena panas maka molekul-molekulnya bertambah besar dan beratnya tetap, sehingga akan bergerak ke atas. Gerakan ke atas ini akan diikuti oleh gerakan zat lain secara terus menerus sehingga terjadi aliran zat karena panas. Dari peristiwa aliran inilah, maka panas dapat merambat secara konveksi. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan.

2.2 Heat Exchanger

Secara harfiah *Heat Exchanger* terdiri dari 2 kata yaitu *Heat* (panas) dan *Exchanger* (alat pertukaran/perpindahan). Jadi arti dari *Heat Exchanger* adalah alat yang digunakan untuk proses pertukaran/perpindahan panas. Proses Perpindahan Panas (*Heat Exchanger*) bisa berupa Proses pemanasan (*Heating*) dan proses pendinginan (*Cooling*). Yang perlu diperhatikan adalah proses perpindahan panas (heat exchanger) ini selalu melibatkan 2 media berupa fluida (cair maupun gas) yang mau ditukar panaskan. Sebagai contoh untuk pemanasan air melibatkan media pemanas misalkan uap (*steam*) dengan media yang mau didinginkan misalkan air. Sebagai contoh untuk pendinginan misalkan pendinginan produk minuman dengan air dingin dimana produk minuman sebagai media yang mau didinginkan sedangkan air dingin sebagai media pendingin.

Pada dunia industri lainnya fungsi penukar kalor untuk menukarkan energi dua fluida (baik fluida yang sama ataupun berbeda) yang berbeda temperatur. Pertukaran energi dapat berlangsung melalui

bidang atau permukaan perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida atau secara kontak langsung (fluida bercampur). Adanya pertukaran energi akan menyebabkan perubahan temperatur fluida atau dipergunakan untuk perubahan fasa. Laju perpindahan energi dalam penukar kalor dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kecepatan aliran fluida, sifat-sifat fisik (viskositas, konduktivitas termal, kapasitas kalor spesifik, dan lain-lain), beda temperatur antara kedua fluida, dan sifat permukaan bidang perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida. Walaupun fungsi penukar kalor adalah untuk menukarkan energi dua fluida atau dua zat, namun jenisnya cukup banyak. Hal ini terjadi karena umumnya desain penukar kalor harus dapat menunjang fungsi utama proses yang akan terjadi di dalamnya. Salah satu alat penukar kalor ialah *Heat Exchanger*. *Heat Exchanger* merupakan alat penukar panas digunakan sebagai media perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur dari dua jenis fluida yang saling mengalir namun tidak tercampur.

2.2.1 Prinsip Kerja *Heat Exchanger*

Panas adalah salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan sama sekali. Dalam suatu proses, panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu suatu zat atau perubahan tekanan, reaksi kimia dan kelistrikan. Proses terjadinya perpindahan panas dapat dilakukan secara langsung, yaitu fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin tanpa adanya pemisah dan secara tidak langsung, yaitu bila di antara fluida panas dan fluida dingin tidak berhubungan langsung tetapi dipisahkan oleh sekat-sekat pemisah. Pada dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung.

1. Secara kontak langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang dilakukan secara kontak langsung dengan melalui interfase/penghubung antara kedua

fluida. Contoh : aliran steam pada kontak langsung yaitu 2 zat cair yang *immiscible* (tidak dapat bercampur), gas I, dan partikel padat-kombinasi fluida.

2. Secara kontak tak langsung
Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

2.2.2 Heat Exchanger berdasarkan arah aliran fluida

1. *Heat Exchanger* dengan aliran searah (*co-current/parallel flow*)

Pada tipe ini temperatur fluida mengalir dengan arah yang sama, dan keluar pada sisi yang sama. Karakter *Heat Exchanger* jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari *Heat Exchanger* (T_{co}) tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar (T_{ho}), sehingga diperlukan media pendingin atau media pemanas yang banyak. Jenis ini merupakan penukar kalor yang paling tidak efektif.

Heat Exchanger[3] jenis ini memiliki karakteristik kedua fluida (panas dan dingin) masuk ke *Heat Exchanger* dengan arah sama, mengalir dengan arah berlawanan dan keluar *Heat Exchanger* pada sisi yang sama yang ditunjukkan pada (Gambar 2.1) Adapun rumus untuk pertukaran panas yang terjadi yaitu :

$$M_c.C_c(T_{co} - T_{ci}) = M_h.C_h(T_{ho} - T_{hi}) \quad (2.1)$$

Dimana :

M_c = Massa air (Kilogram)

C_c = Kapasitas panas (Kcal/Kg.C)

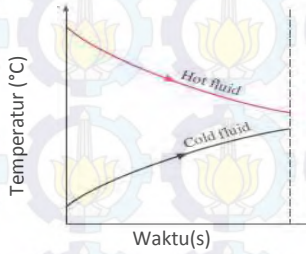
C_h = Kapasitas dingin (Kcal/Kg.C)

T_{co} = Suhu air dingin yang keluar dari *Heat Exchanger*(°C)

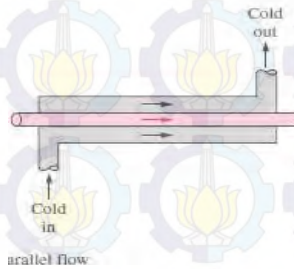
T_{ci} = Suhu air dingin yang masuk ke *Heat Exchanger*(°C)

T_{ho} = Suhu air panas yang keluar dari *Heat Exchanger*($^{\circ}\text{C}$)

T_{hi} = Suhu air panas yang masuk ke *Heat Exchanger*($^{\circ}\text{C}$)



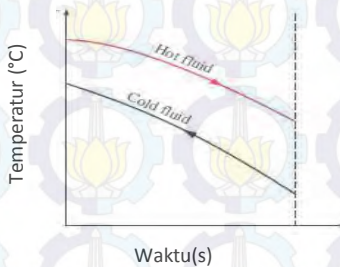
Gambar 2.1 Diagram Heat Exchanger Parallel Flow



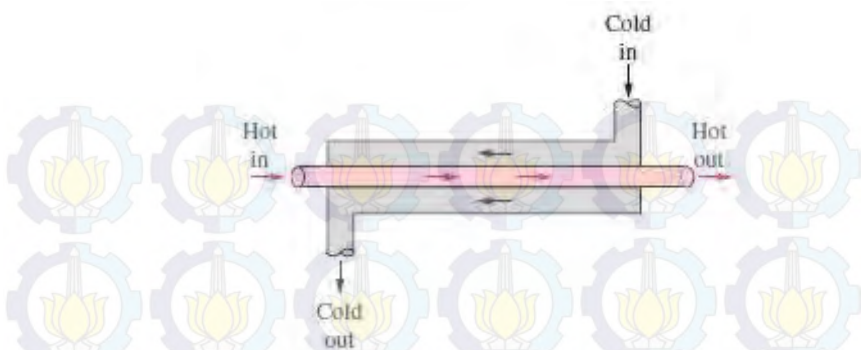
Gambar 2.2 Sketsa Heat Exchanger Parallel Flow

2. *Heat Exchanger* dengan aliran berlawanan arah (*counter-current flow*)

Pada tipe ini didapat kemungkinan temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor. Bahkan idealnya apabila luas permukaan perpindahan kalor tak berhingga dan tidak terjadi rugi-rugi kalor ke lingkungan, maka temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar dari penukar kalor dapat menyamai temperatur fluida yang memberikan kalor saat memasuki penukar kalor. Dengan teori seperti ini jenis penukar kalor berlawanan arah merupakan penukar kalor yang paling efektif. *Heat Exchanger* jenis ini memiliki karakteristik kedua fluida (panas dan dingin) masuk ke *Heat Exchanger* dengan arah berlawanan, mengalir dengan arah berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan yang ditunjukkan pada (Gambar 2.2) dibawah ini.



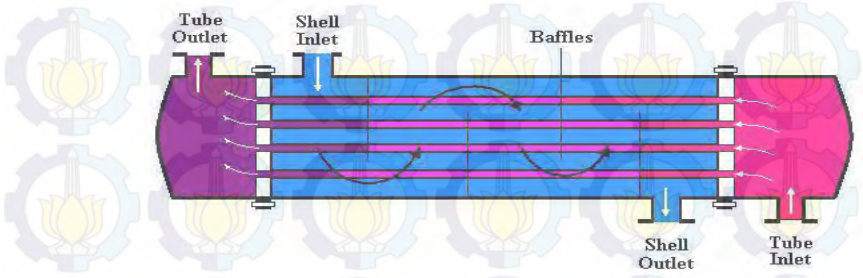
Gambar 2.3.Diagram *Heat Exchanger Counter-Current Flow*



Gambar 2. 4 Sketsa *Heat Exchanger Counter-Current Flow*

2.2.3 Heat Exchanger berdasarkan konstruksi permukaan

Berdasarkan profil konstruksi permukaan, penukar kalor yang banyak di penggunaan di industri antara lain konstruksi tabung dan pipa (*tube and shell*), pipa bersirip (*tube with extended surfaces / fins and tube*), dan penukar kalor pelat (*plate Heat Exchanger*).



Gambar 2. 5 *Heat Exchanger Tipe Shell dan Tube*

Shell and Tube Heat Exchanger merupakan salah satu jenis heat exchanger. Jika aliran yang terjadi sangat besar, maka digunakan shell and tube heat exchanger dimana exchanger ini adalah yang biasa digunakan dalam proses industri. Heat Exchanger ini memiliki aliran yang kontinu. Banyak tube yang dipasang secara paralel dan di dalam tube-tube ini fluida mengalir. Tube-tube ini disusun secara paralel

berdekatan satu sama lain di dalam sebuah shell dan fluida yang lain mengalir di luar tube-tube, tetapi masih dalam shell. *Tube and shell Heat Exchanger* (Gambar 2.5) digunakan ketika suatu proses membutuhkan fluida untuk dipanaskan atau didinginkan dalam jumlah besar. Berdasarkan desainnya *tube and shell* menawarkan area penukar panas yang besar dan menyediakan efisiensi perpindahan panas yang tinggi serta aliran yang kontinyu. Prinsip kerja dari jenis ini adalah dua fluida yang berbeda temperatur, yang satu dialirkan dalam *tube* dan yang lainnya dalam *shell* sehingga bersentuhan secara tidak langsung, secara otomatis panas dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi berpindah ke fluida yang memiliki temperatur lebih rendah. Hasil dari proses ini adalah fluida panas yang masuk akan menjadi lebih dingin dan fluida dingin yang masuk akan menjadi lebih panas. Adapun Keuntungan dengan menggunakan jenis shell & tube exchanger :

1. Memiliki permukaan perpindahan panas persatuan volume yang lebih besar
2. Mempunyai susunan mekanik yang baik dengan bentuk yang cukup baik untuk operasi bertekanan.
3. Tersedia dalam berbagai bahan konstruksi
4. Prosedur pengoperasian lebih mudah
5. Metode perancangan yang lebih baik telah tersedia
6. Pembersihan dapat dilakukan dengan mudah.

Dalam pembahasan sistem kontrol pada *Heat Exchanger*, ada dua hal yang perlu diperhatikan yaitu variabel yang akan dikontrol dan variabel yang akan diubah-ubah nilainya untuk menjaga agar variabel yang dikontrol sesuai dengan masukan. Berdasarkan prinsip kerja *Heat Exchanger* yang paling efektif adalah mengambil jumlah panas yang berpindah antara dua fluida sebagai variabel yang dikontrol, akan tetapi ini tidak mungkin dilakukan mengingat dalam praktiknya fluksi panas tersebut sulit diukur. Oleh karena itu yang paling mungkin adalah dengan mengontrol temperatur salah satu fluida yang keluar dari *Heat Exchanger*. Sedangkan untuk variabel manipulasi terdapat beberapa pilihan di antaranya aliran fluida panas yang masuk, aliran fluida dingin yang masuk, aliran fluida panas yang keluar ataupun aliran fluida dingin yang keluar.

Heat Exchanger[3] merupakan salah satu alat yang memiliki peranan penting dalam sebuah industri untuk mengatur perpindahan panas. Dalam memperoleh model persamaan differensial, *Heat Exchanger* dibagi menjadi beberapa elemen volume dengan panjang dx. *Energy balance* pada *Heat Exchanger* dapat dilihat pada Persamaan 2.2, tingkat akumulasi energi = energi *flow* yang masuk – energi *flow* yang keluar + *heat transfer*.

$$\frac{dE}{dt} = H_{in} - H_{out} + Q(t) \quad (2.2)$$

di mana $\frac{dE}{dt}$ adalah laju perubahan terhadap waktu dari energi di dalam sistem, H_{in} adalah energi *flow* yang masuk, H_{out} adalah energi *flow* yang keluar pada sistem dan $Q(t)$ adalah *heat transfer* dari sistem. Dengan menggunakan hubungan termodinamika didapat rumus sebagai berikut.

$$\frac{dE}{dt} = \rho V C_p \frac{dT_{pout}}{dt} \quad (2.3)$$

di mana ρ adalah kepadatan cairan produk, dalam kg/lt, V adalah volume dari penukar panas, C_p adalah kapasitas panas dari cairan produk, dalam kcal/kg dan $\frac{dT_{pout}}{dt}$ adalah laju perubahan temperatur pada fluida sebagai tambahan:

$$H_{in} = \rho C_p F_i (T_{pin} - T_{ref}) \quad (2.4)$$

$$H_{out} = \rho C_p F_i (T_{pout}(t) - T_{ref}) \quad (2.5)$$

di mana F_i adalah *flow* yang masuk ke dalam *Heat Exchanger*, T_{pin} adalah temperatur input fluida, $T_{pout}(t)$ adalah temperatur fluida output, dan T_{ref} adalah temperatur referensi. Dari penurunan rumus di atas, diperoleh rumus perpindahan panas pada *tube and shell* sebagai berikut:

Shell

$$\rho_s V_s C_{ps} \frac{dT_{s,n}}{dt} = F_s C_{ps} T_{s,n}^i - F_s C_{ps} T_{s,n}^o + Q_n \quad (2.6)$$

Tube

$$\rho_t V_t C_{pt} \frac{dT_{t,n}}{dt} = F_t C_{pt} T_{t,n}^i - F_t C_{pt} T_{t,n}^0 - Q_n \quad (2.7)$$

Dari Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3) persamaan untuk perpindahan kalor pada tiap bagian pada *Shell* dan *Tube Heat Exchanger* dapat ditulis pada persamaan dibawah ini.

1. Zona 1

$$\frac{d\tau_{s1}}{dt} = \alpha_1(\tau_{s2} - \tau_{s1}) - \alpha_1(\tau_{s0} - \tau_{s1}) + \frac{Q_1}{\alpha_2} \quad (2.8)$$

$$\frac{d\tau_{t1}}{dt} = \beta_1(\tau_{t0} - \tau_{t1}) - \beta_1(\tau_{t2} - \tau_{t1}) - \frac{Q_1}{\beta_2} \quad (2.9)$$

$$Q_1 = UA_1(\tau_{t1} - \tau_{s1}) \quad (2.10)$$

2. Zona 2

$$\frac{d\tau_{s2}}{dt} = \alpha_1(\tau_{s3} - \tau_{s2}) - \alpha_1(\tau_{s2} - \tau_{s1}) + \frac{Q_2}{\alpha_2} \quad (2.11)$$

$$\frac{d\tau_{t2}}{dt} = \beta_1(\tau_{t1} - \tau_{t2}) - \beta_1(\tau_{t3} - \tau_{t2}) - \frac{Q_2}{\beta_2} \quad (2.12)$$

$$Q_2 = UA_2(\tau_{t2} - \tau_{s2}) \quad (2.13)$$

3. Zona 3

$$\frac{d\tau_{s3}}{dt} = \alpha_1(\tau_{s4} - \tau_{s3}) - \alpha_1(\tau_{s3} - \tau_{s2}) + \frac{Q_3}{\alpha_2} \quad (2.14)$$

$$\frac{d\tau_{t2}}{dt} = \beta_1(\tau_{t2} - \tau_{t3}) - \beta_1(\tau_4 - \tau_{t3}) - \frac{Q_3}{\beta_2} \quad (2.15)$$

$$Q_3 = UA_3(\tau_{t3} - \tau_{s3}) \quad (2.16)$$

4. Zona 4

$$\frac{d\tau_{s4}}{dt} = \alpha_1(\tau_{s5} - \tau_{s4}) - \alpha_1(\tau_{s4} - \tau_{s3}) + \frac{Q_4}{\alpha_2} \quad (2.17)$$

$$\frac{d\tau_{t4}}{dt} = \beta_1(\tau_{t3} - \tau_{t4}) - \beta_1(\tau_5 - \tau_{t4}) - \frac{Q_4}{\beta_2} \quad (2.18)$$

$$Q_4 = UA_4(\tau_{t4} - \tau_{s4}) \quad (2.19)$$

5. Zona 5

$$\frac{d\tau_{s5}}{dt} = \alpha_1(\tau_{s5} - \tau_{s5}) - \alpha_1(\tau_{s5} - \tau_{s4}) + \frac{Q_5}{\alpha_2} \quad (2.20)$$

$$\frac{d\tau_{t5}}{dt} = \beta_1(\tau_{t4} - \tau_{t5}) - \beta_1(\tau_5 - \tau_{t5}) - \frac{Q_5}{\beta_2} \quad (2.21)$$

$$Q_5 = UA_5(\tau_{t5} - \tau_{s5}) \quad (2.22)$$

di mana,

$$\alpha_1 = \frac{F_s}{C_{ps} \cdot \rho_s \cdot V_s}$$

$$\alpha_2 = \rho_s \cdot V_s C_{ps}$$

$$\beta_1 = \frac{F_t}{C_{pt} \cdot \rho_t \cdot V_t}$$

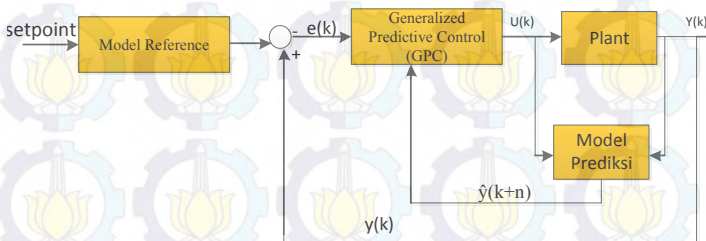
$$\beta_2 = \rho_t \cdot V_t C_{pt}$$

2.3 Sistem Kontrol Prediktif

Pada umumnya pengendalian prediktif merupakan pemodelan linier dari proses digunakan untuk mengetahui perilaku sistem. Dengan model internal, ini perilaku-perilaku sistem diprediksi dalam kurun waktu yang terbatas (disebut dengan *preceding horizon*). Hasil dari prediksi ini kemudian digunakan pada tiap waktu dicuplikan, untuk mengoptimalkan keluaran sistem melalui sinyal masukan. Solusi dari permasalahan optimalisasi ini merupakan nilai masukan optimal bagi sistem untuk waktu tertentu. Terdapat banyak variasi metode pengendalian prediktif dengan nama yang berbeda pula. Namun ide yang didasari dari semua pengendali prediktif pada prinsipnya sama, yang membedakan satu sama lain di antaranya terletak pada model proses yang digunakan untuk mendiskripsikan sistem.

Kontrol prediksi merupakan jenis kontroler yang didesain berdasarkan model proses. Model tersebut digunakan untuk menghitung nilai prediksi keluaran proses. Berdasarkan nilai prediksi tersebut, sinyal kontrol yang akan diberikan ke proses dihitung dengan melakukan minimalisasi suatu fungsi kriteria, sehingga selisih antara jumlah nilai prediksi keluaran proses dengan *setpoint* masukan referensi bersesuaian adalah minimal. Parameter – parameter kendali tersebut beradaptasi

terhadap perubahan kondisi lingkungan disekitarnya, misalnya seperti adanya gangguan, perubahan karakter *internal* dari sistem yang dikendalikan. Penggunaan sistem kontrol adaptif menunjukkan peningkatan kinerja sistem karena suatu sistem umumnya berada dalam situasi yang mengandung gangguan serta kondisi *internal* dan *eksternalnya* mengandung ketidakpastian. Secara garis besar, sistem kontrol adaptif terdiri dari terdiri atas berbagai tipe, yaitu model reference *adaptive control*, *self-tuning adaptive control*, *adaptive gain scheduling*, dan *dual-adaptive control*. Pada dasarnya kontrol adaptif adalah kendali tak linier, sehingga banyak digunakan untuk mengendalikan sistem-sistem tak linear.



Gambar 2.6 Diagram Blok GPC

Beberapa metodologi digunakan untuk mendesain kontrol prediktif yaitu dengan munculnya beberapa jenis kontrol prediktif yang memiliki spesifikasi yang berbeda – beda, salah satunya adalah *Generalized Predictive Control (GPC)*.

Generalized Predictive Control (GPC) adalah suatu metoda pengontrolan prediktif yang paling banyak digunakan di dunia industri dan dirancang berdasarkan model suatu proses. Metode prediktif menjadi salah satu kendali yang paling dikenal di kalangan industri maupun akademis. Implementasi GPC di banyak industri, menunjukkan performansi yang baik dan bersifat *robustness*. Dengan kata lain *Generalized Predictive Control (GPC)* juga merupakan suatu metode pengontrolan yang dirancang berdasarkan model suatu proses. Model tersebut digunakan untuk menghitung suatu set prediksi keluaran proses. Berdasarkan set prediksi tersebut, sinyal kontrol yang akan diberikan ke proses dihitung dengan melakukan minimalisasi suatu fungsi harga,

sedemikian sehingga selisih antara set prediksi keluaran proses dan set masukan referensi yang bersesuaian serta perubahan sinyal kontrol minimal. Secara umum, GPC merupakan kombinasi dari komponen-komponen berikut.

1. Model proses yang akan digunakan untuk menghitung prediksi keluaran proses. Pemilihan struktur model yang baik sangat penting dalam merancang suatu pengontrol prediktif.
2. Pengetahuan mengenai masukan referensi ke depan yang bersesuaian dengan set prediksi keluaran proses.

GPC yang telah diperkenalkan oleh Clarke *et al* [7] telah banyak digunakan pada proses dalam industri. Hal ini disebabkan karena kemampuan pengaturan yang stabil untuk sistem dengan parameter, *dead time*, dan orde model yang berubah-ubah. Plant non linier umumnya menggunakan model linier pada daerah tertentu. Salah satu permodelan yang umum digunakan adalah model CARMA (Controlled Auto-Regressive Moving Average).

$$A(q^{-1}) = B(q^{-1})u(t - 1) + C(q^{-1})\xi(t)$$

dengan $u(t)$ input kontrol, $y(t)$ variabel yang terukur atau output yang ditunjukkan pada rumus dibawah ini.

$$\hat{y} = \hat{y}_{force} + \hat{y}_{free}$$

Free, dan $\xi(t)$ gangguan. Dimana A dan B adalah polinomial

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{na}q^{-na}$$

$$B(q^{-1}) = b_0 + b_1q^{-1} + \dots + b_{nb}q^{-nb}$$

$$C(q^{-1}) = 1 + c_1q^{-1} + \dots + c_{nc}q^{-nc}$$

Sinyal output prediksi $\hat{y}(k + d + 1 + n_c)$ dituliskan sebagai penjumlahan dari *free response* dan *force response*. *e Response* merupakan respon hasil pengaruh dari input yang lampau, output yang akan datang dengan asumsi aksi kontrol dari waktu saat ini. *Force*

response merupakan respon hasil pengaruh input saat ini dan yang akan datang terhadap output yang akan datang.

Persamaan *force response* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\hat{y}_{force}(k + d + 1 + n_c|k) &= \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})}u(k + 1 + n_c|k) \\ &= G(q^{-1})u(k + 1 + n_c|k)\end{aligned}$$

atau dapat ditulis dengan :

$$\hat{\mathbf{y}}_{force} = \mathbf{G}\mathbf{u}_f$$

dimana

$$\mathbf{u}_f = [u(k|k), u(k + 1|k), \dots, u(k + n_{c2} - 1|k)]^T,$$

$G(q^{-1})$ adalah transfer function pulsa dari proses tanpa dead time fisik.

Variabel manipulasi untuk saat ini dan akan datang disebut $u(k + i), i \geq 0$ didesain dengan waktu diskrit, dan bisa ditulis $\Delta u(k + i|k)$. Untuk lebih mudahnya penulisan $\Delta u(k + i|k)$ hanya ditulis $\Delta u(k + i)$. \mathbf{G} merupakan koefisien respon unit step yang dapat dituliskan seperti berikut ini.

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{n_{c1}+1} & g_{n_{c1}} & \dots & g_{n_{c1}-n_u+2} \\ g_{n_{c1}+2} & g_{n_{c1}+1} & \dots & g_{n_{c1}-n_u+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n_{c2}+1} & g_{n_{c1}} & \dots & g_{n_{c2}-n_u+2} \end{bmatrix}$$

Berdasarkan strategi *receding horizon* hanya input pertama $u(k)$ digunakan dan dihitung dan diulang ke langkah kontrol selanjutnya,

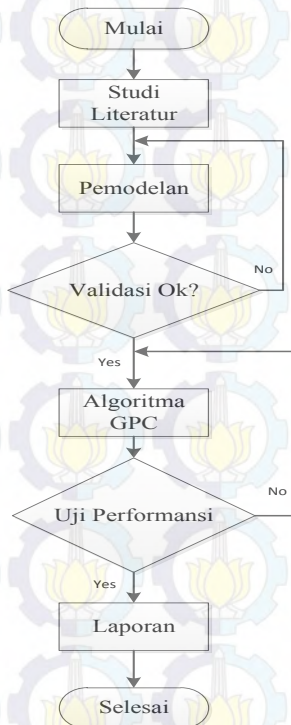
$$\mathbf{u}(\mathbf{k}) = [1, 0, \dots, 0][\mathbf{G}^T \mathbf{G} + \lambda_u \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{G}^T (\mathbf{y}_r - \hat{\mathbf{y}}_{free})$$

dimana vektor $[1, 0, \dots, 0]$ memiliki $n_u - 1$ nilai nol.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pada bab III ini akan dibahas tentang perancangan sistem secara detail berupa identifikasi kebutuhan untuk sistem, identifikasi sistem, perancangan dan pemodelan matematika plant yang sudah didapat pada *paper* [1] serta perancangan kontroler berisi tentang langkah pembuatan kontroler *Generalized Predictive Control* (GPC) pada MATLAB.

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Identifikasi Kebutuhan Sistem

Identifikasi kebutuhan sistem yang digunakan untuk memprediksi kebutuhan yang akan digunakan untuk penelitian suatu Tugas Akhir. Tahap ini sangat penting karena keberhasilan kontrol di dalam *plant* sangat bergantung pada komponen penyusun (subsistem) didalamnya dimana pemilihan suatu komponen didasarkan pada data yang jelas dan lengkap agar tidak terjadi kesalahan yang dapat berakibat gagalnya suatu penelitian.

3.3 Perancangan Simulasi *Heat Exchanger*

Plant Heat Exchanger yang digunakan adalah *Temperature Process Rig Trainer 38-600* yang terdiri dari :

1. *Pump*
Pompa air digunakan untuk mengalirkan air dari *heat exchanger* ke *heater*.
2. *Kompresor*
Kompresor berfungsi untuk memompa air menuju ke instrumen pengaturan temperatur
3. *Sensor Temperature*
Sensor temperatur berfungsi untuk menginformasikan besarnya temperatur di suatu titik. Sensor temperatur yang digunakan di instrumen ini adalah thermistor. Thermistor menyatakan nilai temperatur dalam besaran listrik.
4. *Heater*
Heater adalah komponen yang berfungsi untuk memanaskan air. Daya yang dibutuhkan oleh heater adalah 3700 watt.
5. *Solenoid Valve*
Solenoid valve digunakan untuk membuka dan menutup saluran air. Solenoid adalah aktuator elektromekanik yang menerima sinyal aksi dari modul pengatur analog.
6. *Motorised Control Valve*
Motorised Control valve adalah katup yang dikendalikan melalui putaran motor servo. Komponen ini digunakan untuk mengatur debit air yang masuk ke tangki.

7. *Radiator/Pendingin*

Radiator berfungsi untuk mendinginkan temperatur air sebelum air keluar menuju bak penampungan air.

8. *Heat Exchanger*

Heat exchanger adalah ruang pertukaran panas. Ada dua macam aliran yang melaluinya. Aliran air panas dari heater dan aliran air normal dari bak. Kedua aliran ini dihipitkan sedemikian rupa sehingga terjadi pertukaran panas.

9. *Holder Tank*

Holder Tank adalah tempat penampungan untuk air yang dipanaskan oleh heater padawaktu awal pemakaian instrumen.

3.4 Perancangan dan Pemodelan *Plant*

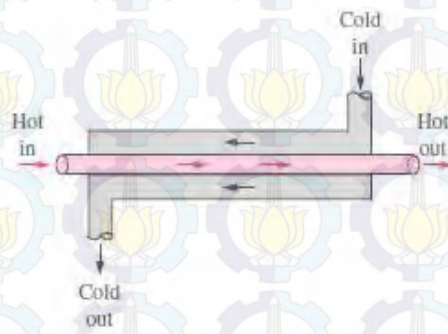
Dalam Tugas Akhir ini, *plant* merupakan simulasi *plant* yang didapat dari *paper* [1]. Sehingga untuk merancang suatu sistem yang dapat dikendalikan, maka terlebih dahulu mengidentifikasi *plant* yang digunakan sehingga dapat diketahui karakteristik dari suatu *plant* tersebut. Untuk mendukung pembuatan sistem maka diperolehkannya pemodelan matematis yang diperoleh pada sebuah *paper* dengan judul “*Modeling of a Dynamic Countercurrent Tubular Heat Exchanger*” Antonio menuliskan dalam sebuah paper tersebut mengenai bentuk *nonlinear* suatu sistem *Heat Exchanger* dengan proses

Proses identifikasi yang dilakukan yaitu dengan menggunakan metode *open loop* secara simulasi dengan bantuan *Matlab* yang didapat dari suatu fungsi alih *plant*. Proses selanjutnya dengan melakukan identifikasi dengan mencari nilai masukan yang berupa sinyal *step* agar tetap bekerja pada daerah yang ditentukan atau wilayah kerjanya (*operating area*).

Untuk memperoleh hasil yang maksimal *Heat Exchanger* dibagi menjadi N bagian yang sama besar, pada tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bagian (Gambar 3.2) dengan panjang perbagian 1.808 meter. Dengan asumsi bahwa temperatur pada satu *zona* akan seragam / sama berapapun jumlah pembagian *zona*.



Gambar 3. 2 Pembagian zona Heat Exchanger



Gambar 3. 3 Aliran Fluida Panas dan Dingin

Bentuk persamaan *nonlinear Heat Exchanger* dibagi menjadi 5 bagian sesuai dengan zona masing-masing diberikan seperti persamaan berikut.

1. Zona 1

$$\frac{d\tau_{s1}}{dt} = \frac{F_s}{0.734} (\tau_{s2} - \tau_{s1}) - \frac{F_s}{0.734} (\tau_{s0} - \tau_{s1}) + \frac{Q_1}{0.734} \quad (3.1)$$

$$\frac{d\tau_{t1}}{dt} = \frac{F_t}{0.621} (\tau_{t0} - \tau_{t1}) - \frac{F_t}{0.621} (\tau_{t2} - \tau_{t1}) - \frac{Q_1}{0.621} \quad (3.2)$$

$$Q_1 = 1.514(\tau_{t1} - \tau_{s1}) \quad (3.3)$$

2. Zona 2

$$\frac{d\tau_{s2}}{dt} = \frac{Fs}{0.734} (\tau_{s3} - \tau_{s2}) - \frac{Fs}{0.734} (\tau_{s2} - \tau_{s1}) + \frac{Q_2}{0.734} \quad (3.4)$$

$$\frac{d\tau_{t2}}{dt} = \frac{Ft}{0.621} (\tau_{t1} - \tau_{t2}) - \frac{Ft}{0.621} (\tau_{t3} - \tau_{t2}) - \frac{Q_2}{0.621} \quad (3.5)$$

$$Q_2 = 1.514(\tau_{t2} - \tau_{s2}) \quad (3.6)$$

3. Zona 3

$$\frac{d\tau_{s3}}{dt} = \frac{Fs}{0.734} (\tau_{s4} - \tau_{s3}) - \frac{Fs}{0.734} (\tau_{s3} - \tau_{s2}) + \frac{Q_3}{0.734} \quad (3.7)$$

$$\frac{d\tau_{t2}}{dt} = \frac{Ft}{0.621} (\tau_{t2} - \tau_{t3}) - \frac{Ft}{0.621} (\tau_4 - \tau_{t3}) - \frac{Q_3}{0.621} \quad (3.8)$$

$$Q_3 = 1.514(\tau_{t3} - \tau_{s3}) \quad (3.9)$$

4. Zona 4

$$\frac{d\tau_{s4}}{dt} = \frac{Fs}{0.734} (\tau_{s5} - \tau_{s4}) - \frac{Fs}{0.734} (\tau_{s4} - \tau_{s3}) + \frac{Q_4}{0.734} \quad (3.10)$$

$$\frac{d\tau_{t4}}{dt} = \frac{Ft}{0.621} (\tau_{t3} - \tau_{t4}) - \frac{Ft}{0.621} (\tau_5 - \tau_{t4}) - \frac{Q_4}{0.621} \quad (3.11)$$

$$Q_4 = 1.514(\tau_{t4} - \tau_{s4}) \quad (3.12)$$

5. Zona 5

$$\frac{d\tau_{s5}}{dt} = \frac{Fs}{0.734} (\tau_{s5} - \tau_{s5}) - \frac{Fs}{0.734} (\tau_{s5} - \tau_{s4}) + \frac{Q_5}{0.734} \quad (3.13)$$

$$\frac{d\tau_{t5}}{dt} = \frac{Ft}{0.621} (\tau_{t4} - \tau_{t5}) - \frac{Ft}{0.621} (\tau_5 - \tau_{t5}) - \frac{Q_5}{0.621} \quad (3.14)$$

$$Q_5 = 1.514(\tau_{t5} - \tau_{s5}) \quad (3.15)$$

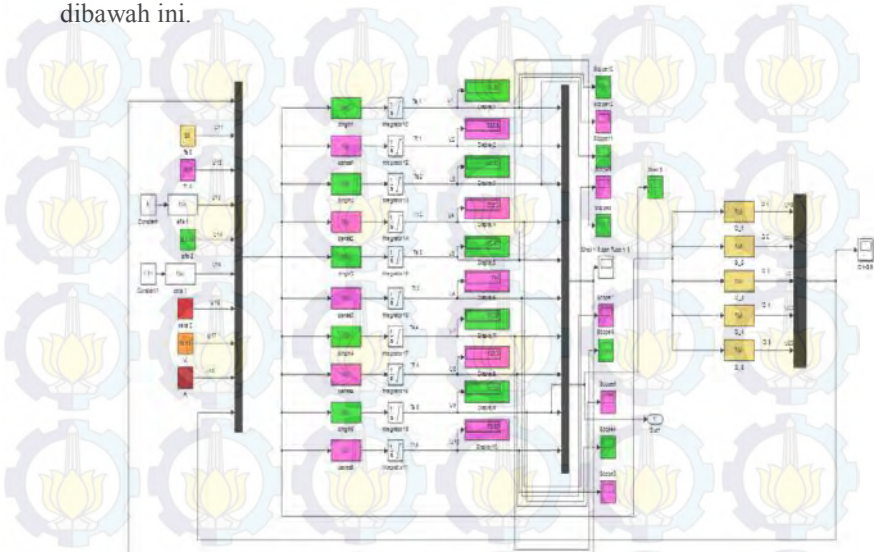
Adapun perhitungan pada setiap zona yang dimulai dari zona 1 sampai zona 5 dapat diperoleh dengan melihat tabel 3.1 yang merupakan tabel persamaan koefisien pada plan *Heat Exchanger*.

Pada persamaan diatas setiap penentuan nilai dari variabel $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ pada persamaan persamaan zona 1 sampai zona 5, dapat dicari hasil perhitungannya pa da setiap variabel yang dimaksud dengan menggunakan nilai koefisien seperti pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Persamaan Koefisien pada plant *Heat Exchanger*

Konstanta	Nilai	Satuan	Keterangan
U	10.15	Kcal/(m ² .min.°C)	<i>Overall heat transfer</i>
D_{et}	0.02667	m	Diameter eksternal <i>tube</i>
D_{it}	0.02093	m	Diameter internal <i>tube</i>
D_{is}	0.03505	m	Diameter internal <i>shell</i>
L	9.04	m	Total panjang pipa
P_s	1	Kg/lit (70 °C)	Massa jenis <i>shell</i>
C_{ps}	1	kcal/kg-°C	Kapasitas kalor <i>shell</i>
P_t	1	kg/lit (20 °C)	Massa jenis <i>tube</i>
C_{pt}	1	Kcal/kg°C	Kapasitas kalor <i>shell</i>
ΔL	1.808	m	Panjang masing-masing pipa
V_t	0.62174	m ³	Volume <i>tube</i>
V_s	0.734	m ³	Volume <i>shell</i>
α_2	0.62174	-	Konstanta debit <i>shell</i>
β_2	0.734	-	Konstanta debit <i>tube</i>

Proses identifikasi diatas dilakukan menggunakan metode *open loop* yang akan disimulasikan pada MATLAB. Tampilan diagram simulasi *open loop plant Heat Exchanger nonlinear* dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.

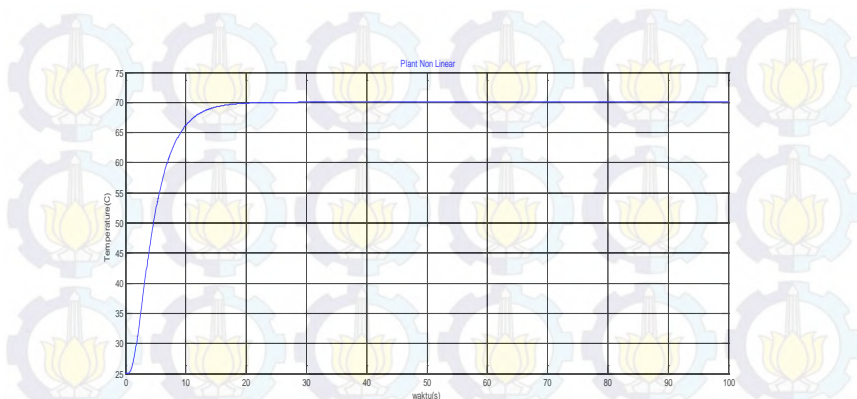


Gambar 3.4. Blok Diagram Plant *Heat Exchanger Nonlinear* pada MATLAB

Dari gambar 3.4 diatas diperoleh bahwa temperature pada suhu fluida dingin sebesar 25°C, sedangkan temperature pada suhu fluida panas sebesar 300 °C. Nilai α_1 diperoleh dari persamaan $u/(0.734*1*1)$, β_1 diperoleh dari persamaan $u/(0.6217*1*1)$, β_2 sebesar 0.6217 , nilai U sebesar 10.15, dan nilai dari luas penampangnya sebesar $(22/7)*(0.02667/2)^2$.

Dengan memberikan nilai kecepatan air dingin sebesar 5 m³/menit, dan kecepatan fluida panas sebesar 1.01 m³/menit,serta memberikan masukan suhu fluida dingin sekitar 25°C, suhu fluida panas 300°C, maka tampilan simulasi plant Heat Exchanger nonlinear dapat dilihat pada gambar 3.5 dan waktu simulasi yang diberikan sekitar 100s, maka diperolehkan respons *open loop* dari temperatur yang menunjukkan

respons cepat dan mencapai kestabilannya pada nilai 70°C, pada waktu *steady state* 22s.



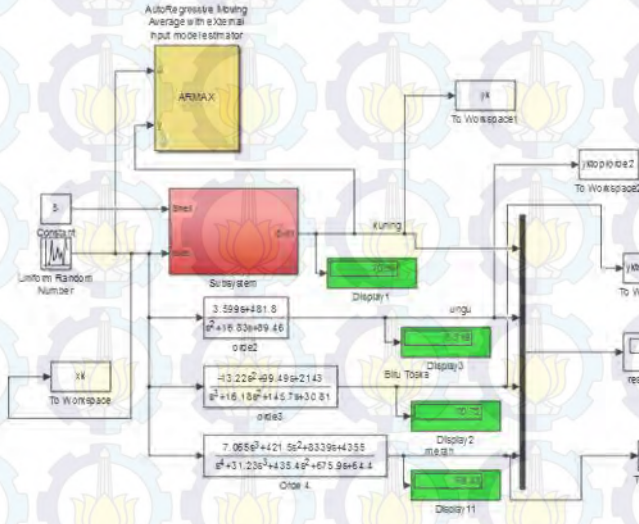
Gambar 3. 5. Tampilan Hasil Simulasi *Plant Heat Exchanger Nonlinear* pada MATLAB

3.4.1 Linearisasi Pemodelan

Berdasarkan persamaan model nonlinear diatas dapat diketahui bahwa x_1 merupakan *state* yang merupakan suhu fluida dingin (°C) pada zona 1; x_2 merupakan *state* suhu fluida panas (°C) pada zona 1; x_3 merupakan *state* suhu fluida dingin (°C) pada zona 2; x_4 merupakan *state* suhu fluida panas (°C) pada zona 2; x_5 merupakan *state* suhu fluida dingin (°C) pada zona 3; x_6 merupakan *state* suhu fluida panas (°C) pada zona 3; x_7 merupakan *state* suhu fluida dingin (°C) pada zona 4; x_8 merupakan *state* suhu fluida panas (°C) pada zona 4; ; x_9 merupakan *state* suhu fluida dingin (°C) pada zona 5; x_{10} merupakan *state* suhu fluida panas (°C) pada zona 5.

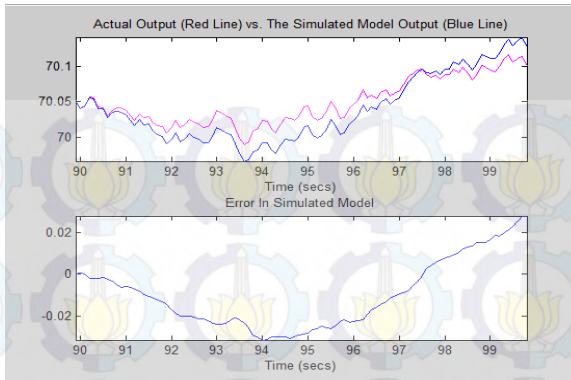
Untuk lebih memodelkan proses yang dihasilkan, diperlukan Model proses identifikasi dilinearisasi dengan model pendekatan ARMAX(*Auto Regressive Moving Average with External input model estimator*) untuk respon masukan random.

Bentuk pendekatan model ARMAX yang akan digunakan adalah pendekatan dengan orde terkecil, namun dengan *error* yang kecil pula, sehingga masih dapat mempresentasikan model *nonlinear* yang telah diperoleh. Dalam mencari bentuk ARMAX dari *plant* digunakan bantuan dari *software* MATLAB seperti pada Gambar 3.6.



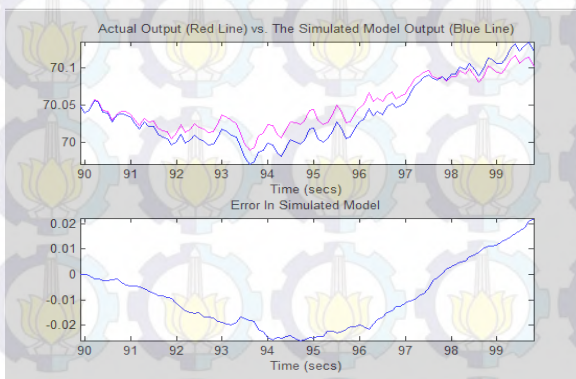
Gambar 3. 6. Tampilan *Block diagram* Pendekatan ARMAX

Pendekatan Armax pertama dilakukan pada orde ke-2 masukan pada *plant* yaitu kecepatan air dingin sebesar $5\text{m}^3/\text{menit}$ dan kecepatan air panas pada *plant* yang diberikan berupa nilai random sebesar 20% antara $0.8\text{-}1.2\text{m}^3/\text{menit}$ dengan nilai $n_a=2, n_b=2, n_c=1, n_k=1$ dengan durasi simulasi 100 dan hasil responnya ditunjukkan pada gambar 3.7 dibawah ini.



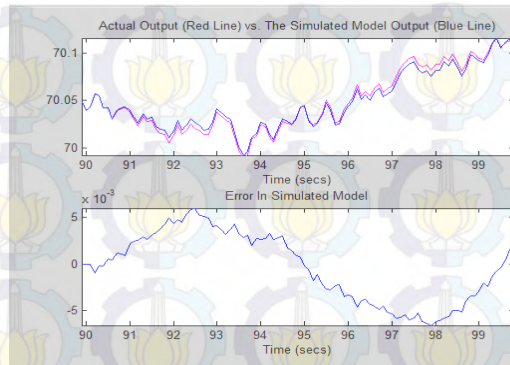
Gambar 3.7. Respons Pendekatan ARMAX Orde ke-2

Pendekatan Armax kedua dilakukan pada orde ke-3 masukan pada plant yaitu kecepatan air dingin sebesar $5\text{m}^3/\text{menit}$ dan kecepatan air panas pada plant yang diberikan berupa nilai random sebesar 20% antara $0.8\text{-}1.2\text{m}^3/\text{menit}$ dengan nilai $n_a=3$, $n_b=2$, $n_c=1$, $n_k=1$ dengan durasi simulasi 100 dan hasil responnya ditunjukkan pada gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3.8. Respons Pendekatan ARMAX Orde ke-3

Pendekatan Armax ketiga dilakukan pada orde ke-4 masukan pada plant yaitu kecepatan air dingin sebesar $5\text{m}^3/\text{menit}$ dan kecepatan air panas pada plant yang diberikan berupa nilai random sebesar 20% antara $0.8\text{-}1.2\text{m}^3/\text{menit}$ dengan nilai $n_a=4, n_b=3, n_c=1, n_k=1$ dengan durasi simulasi 100 dan hasil responnya ditunjukkan pada gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9. Respons Pendekatan ARMAX Orde ke-4

3.5 Perancangan Kontroler GPC

Pada penelitian dan juga tahap penyelesaian Tugas Akhir ini, perancangan sistem kontrol pada *Heat Exchanger* dengan menggunakan kontrol *Generalized Predictive Control* (GPC) bertujuan untuk menjaga kestabilan temperatur agar sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Dari model matematika *Heat Exchanger* yang ada [1], maka dilakukan permodelan ARMA (*AutoRegressive Moving Average*).

Ketika memperhatikan titik operasi, plant non linier umumnya menggunakan model linier pada daerah tertentu. Salah satu permodelan yang umum digunakan adalah model CARMA (*Controlled Auto-Regressive Moving Average*).

$$A(q^{-1}) = B(q^{-1})u(t - 1) + C(q^{-1})\xi(t) \quad (1)$$

dengan $u(t)$ input kontrol, $y(t)$ variabel yang terukur atau output

$$\hat{y} = \hat{y}_{force} + \hat{y}_{free} \quad (2)$$

Free, dan $\xi(t)$ gangguan. Dimana A dan B adalah polinomial

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na}$$

$$B(q^{-1}) = b_0 + b_1 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb}$$

$$C(q^{-1}) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{nc} q^{-nc}$$

Sinyal output prediksi $\hat{y}(k + d + 1 + n_c)$ dituliskan sebagai penjumlahan dari *free response* dan *force response*.

eResponse merupakan respon hasil pengaruh dari input lampau, output yang akan datang dengan asumsi aksi kontrol dari waktu saat ini. *Force response* merupakan respon hasil pengaruh input saat ini dan yang akan datang terhadap output yang akan datang. Persamaan *force response* adalah sebagai berikut :

$$\hat{y}_{force}(k + d + 1 + n_c | k) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(k + 1 + n_c | k)$$

atau dituliskan dengan rumus $\hat{y}_{force} =$

Gu_f

dimana

$$u_f = [u(k|k), u(k+1|k), \dots, u(k+n_c-1|k)]^T,$$

$G(q^{-1})$ adalah transfer function pulsa dari proses tanpa dead time fisik.

Variabel manipulasi untuk saat ini dan akan datang disebut $u(k+i), i \geq 0$ didesain dengan waktu diskrit, dan dapat juga ditulis

dengan $\Delta u(k+i|k)$. \mathbf{G} merupakan koefisien respon unit step yang nilai matriks nya dapat dibuat seperti matriks dibawah ini.

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{n_{c1}+1} & g_{n_{c1}} & \dots & g_{n_{c1}-n_u+2} \\ g_{n_{c1}+2} & g_{n_{c1}+1} & \dots & g_{n_{c1}-n_u+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n_{c2}+1} & g_{n_{c1}} & \dots & g_{n_{c2}-n_u+2} \end{bmatrix}$$

Berdasarkan strategi *receding horizon* hanya input pertama $u(k)$ digunakan dan dihitung dan diulang ke langkah kontrol selanjutnya,

$$\mathbf{u}(k) = [1, 0, \dots, 0][\mathbf{G}^T \mathbf{G} + \lambda_u \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{G}^T (\mathbf{y}_r - \hat{\mathbf{y}}_{\text{free}})$$

dimana vektor $[1, 0, \dots, 0]$ memiliki $n_u - 1$ nilai nol.

Dari tampilan blok diagram pendekatan Armax pada gambar 3.6. didapat bahwa respon plant lebih dekat dengan respon identifikasi orde dua dengan nilai $n_a=2$, $n_b=2$, $n_c=1$, $n_k=1$ dan *time sampling* sebesar 0.1 dan dijalankan selama 100s maka didapatkan hasil permodelan ARMA sebagai berikut:

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{1,595z + 0,14464}{z^2 - 1,067z + 0,0917}$$

$$y(k) = 1,067y(k-1) - 0,0917y(k-2) + 1,595u(k-1) + 0,14464u(k-2)$$

Dengan persamaan beda $y(k)$ diatas didapat variabel-variabel a_1, a_2, b_1, b_2 yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} \\ &= 1,595q^{-1} + 0,14464q^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B(q^{-1}) &= 1 - b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} \\ &= 1 - 1,067q^{-1} + 0,0917q^{-2} \end{aligned}$$

Setelah model ARMA ditemukan, langkah selanjutnya yaitu menentukan panjang *prediction horizon*. Penentuan ini harus disesuaikan dengan respon yang diharapkan. Apabila panjang horizon terlalu pendek akan menimbulkan overshoot, sedangkan apabila terlalu panjang respon sistem akan lambat walaupun tidak terdapat *overshoot*. Dari model referensi yang telah ditentukan sebelumnya, diharapkan respon lebih cepat dari pada sebelumnya, sehingga dapat ditentukan panjang *prediction horizon* sebesar 3.

Dari transfer function diatas yang didapat dari persamaan orde dua yang telah diubah ke persamaan diskrit, maka dapat ditentukan persamaan beda yang sekarang dan persamaan beda yang akan datang sebagai berikut.

$$y(k) = b_1y(k-1) + b_2y(k-2) + a_1u(k-1) + a_2u(k-2)$$

$$y(k+1) = b_1y(k) + b_2y(k-1) + a_1u(k) + a_2u(k-1)$$

$$y(k+2) = (b_1^2 + b_2)y(k) + b_1b_2y(k-1) + a_1u(k+1) + (b_1a_1 + a_2)u(k) + b_1a_2u(k-1)$$

$$y(k+3) = (b_1^3 + 2b_1b_2)y(k) + (b_1^2b_2 + b_2^2)y(k-1) + a_1u(k+2) + (b_1a_1 + a_2)u(k+1) + (b_1^2a_1 + b_2a_1 + b_1a_2)u(k) + (b_1^2b_2 + b_2^2)u(k-1)$$

Dari ketiga persamaan diatas maka dapat dibentuk matriks sebagai berikut

$$\hat{\mathbf{y}} = \hat{\mathbf{y}}_{force} + \hat{\mathbf{y}}_{free}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{y}(k+1) \\ \hat{y}(k+2) \\ \hat{y}(k+3) \end{bmatrix} = \mathbf{G} \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ u(k+2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{y}_{free}(k+1) \\ \hat{y}_{free}(k+2) \\ \hat{y}_{free}(k+3) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} g_1 & 0 & 0 \\ g_2 & g_1 & 0 \\ g_3 & g_2 & g_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ u(k+2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{y}_{free}(k+1) \\ \hat{y}_{free}(k+2) \\ \hat{y}_{free}(k+3) \end{bmatrix}$$

Dengan matriks G adalah matriks seperti dibawah ini.

$$\begin{bmatrix} g_1 & 0 & 0 \\ g_2 & g_1 & 0 \\ g_3 & g_2 & g_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 \\ b_1 a_1 + a_2 & a_1 & 0 \\ b_1^2 a_1 + b_2 a_1 + b_1 a_2 & b_1 a_1 + a_2 & a_1 \end{bmatrix}$$

Dengan prediksi yang dinyatakan perhitungannya dalam matriks adalah sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} \hat{y}_{free}(k+1) \\ \hat{y}_{free}(k+2) \\ \hat{y}_{free}(k+3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & a_2 \\ b_1^2 + b_2 & b_1 b_2 & b_1 a_2 \\ b_1^3 + 2b_1 b_2 & b_1^2 b_2 + b_2^2 & b_1^2 b_2 + b_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(k) \\ y(k-1) \\ u(k-1) \end{bmatrix}$$

Sinyal kontrol didapatkan yaitu :

$$u(k) = [1 \ 0 \ 0] [G^T G + \lambda_u I]^{-1} G^T (y_r - \hat{y}_{free})$$

$$\text{Dengan } y_r = \begin{bmatrix} y_{r+1} \\ y_{r+2} \\ y_{r+3} \end{bmatrix}$$

3.6 Desain Prediktif

Prediktif merupakan formulasi suatu sistem agar dapat diketahui *output* sistem beberapa langkah kedepan. Dalam perancangan kontroler GPC prediktif ini sangat dibutuhkan untuk menemukan nilai dari matriks y_r yang merupakan nilai referensi dari kontroler.

Model referensi yang diharapkan dapat dicapai oleh plant *Heat Exchanger*, berbentuk persamaan orde 1 sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{1}{0,2s + 1}$$

Dari persamaan tersebut, dapat dibentuk permodelan diskrit dengan *time sampling* sebesar 0,1 dan didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$G(z) = \frac{0,39346}{z - 0,60654}$$

Sehingga didapatkan :

$$y_r(k) = b_r y_r(k-1) + a_r u(k-1)$$

$$y_r(k) = 0,60654 y_r(k-1) + 0,39346 u(k-1)$$

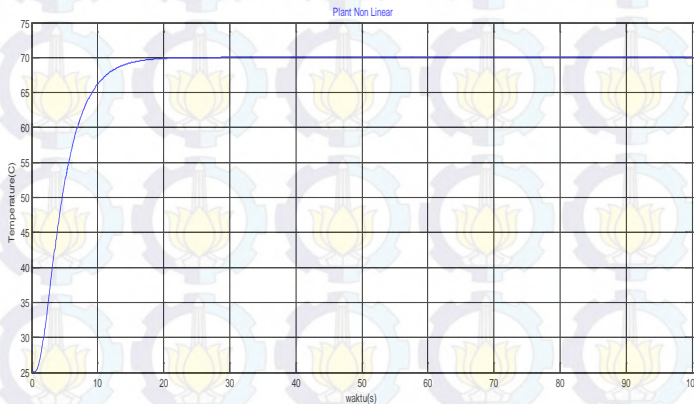
Dari persamaan diatas dapat diturunkan persamaan y_r tiga langkah kedepan, sehingga didapatkan persamaan $y_r(k+3)$. Dalam hal ini nilai $x(k)$ dianggap sama pada setiap waktu. Sehingga Y_r untuk 3 prediksi kedepan didapat :

$$y_r(k+1) = b_r y_r(k-1) + a_r u(k-1)$$

$$y_r(k+2) = b_r^2 y_r(k-1) + (b_r a_r + a_r) u(k-1)$$

$$y_r(k+3) = b_r^3 y_r(k-1) + (b_r^2 a_r + b_r a_r + a_r) u(k-1)$$

dipercepat dan kecepatan air dingin (shell) tetap maka output suhu pada fluida dingin akan menurun. Demikian juga sebaliknya jika kecepatan aliran fluida dingin dipercepat sementara kecepatan aliran fluida panas (tube) tetap, temperatur yang dihasilkan juga akan menurun. Untuk dapat melihat hasil respon *plant* pada shell (air dingin) dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini.



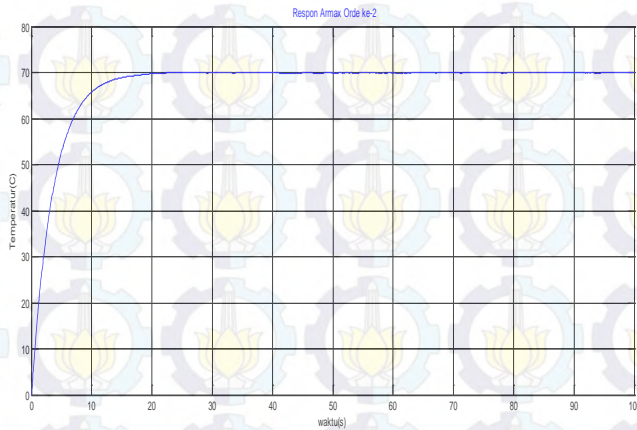
Gambar 4. 2. Respon *Plant Nonlinear Heat Exchanger*

Dari gambar 4.2 diatas diperoleh keterangan bahwa nilai dari kecepatan aliran fluida dingin bernilai konstan yaitu sebesar $5 \text{ m}^3/\text{menit}$, dan kecepatan aliran fluida panas bernilai random sebesar $1.01 \text{ m}^3/\text{menit}$. Disisi lain dari gambar diatas juga diketahui bahwa suhu awal pada fluida dingin sebesar 25°C , suhu fluida panas sebesar 300°C , terjadi ripple pada respon diatas pada waktu 19s dan mencapai kestabilannya 70°C pada waktu state 22°C , sedangkan durasi simulasi yang diberikan sebesar 100s, sehingga ketika matlab di running dihasilkan respon seperti gambar 4.2 diatas.

4.1.1 Simulasi Plant Diskrit

Pada simulasi plant diskrit ini dapat dilakukan perbandingan antara model plant linear setelah melakukan pendekatan Armax pada setiap orde, baik itu orde ke-2, orde ke-3 dan orde ke-4. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah persamaan linear yang didapat setelah melakukan pendekatan Armax mampu mempresentasikan model *nonlinear* dari *plant Heat Exchanger*.

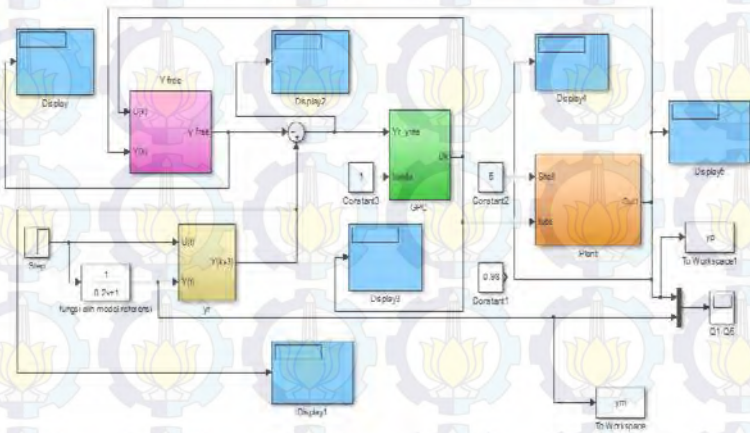
Pendekatan Armax pertama dilakukan pada orde ke-2 masukan pada plant yaitu kecepatan air dingin sebesar $5\text{m}^3/\text{menit}$ dan kecepatan air panas pada plant yang diberikan berupa nilai random sebesar 20% antara $1.0\text{-}1.02\text{m}^3/\text{menit}$ dengan nilai $n_a=2, n_b=2, n_c=1, n_k=1$ dengan durasi simulasi 100 dan hasil responnya ditunjukkan pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3. Respons Pendekatan ARMAX Orde ke-2 ke plant

4.2 Simulasi dengan menggunakan Kontroler GPC

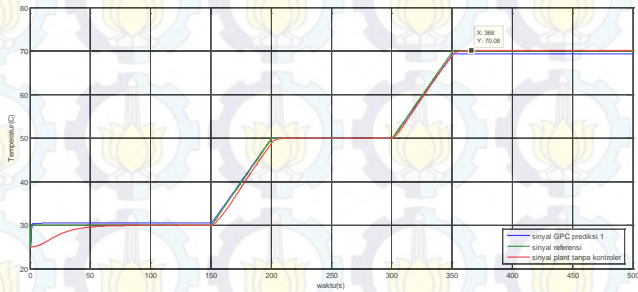
Adapun tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui seberapa baik kinerja dari pengendali GPC. Untuk semua tahapan pengujian yang dilakukan, pada kontroler ini model dari sistem Heat Exchanger diberikan sinyal random pada Tube sehingga ketika diatur nilai Y_{free} yang berbeda-beda sesuai dengan prediksi berapa yang akan dilakukan. Dengan pengujian prediksi ini keterbatasan dan kehandalan dari kontroler GPC ini dapat diketahui baik buruknya, apakah keluaran dapat mengikuti sinyal acuan pada plant Heat Exchanger atau tidak. Adapun diagram simulasi plant Heat Exchanger dengan menggunakan kontroler Generalized Predictive Control (GPC) adalah seperti gambar 4.4 dibawah ini. Untuk mengetahui pengaruh setiap prediksi terhadap hasil dari kinerja kontroler GPC, maka nilai dari Y_r dibuat tetap sedangkan yang diubah-ubah untuk membuat prediksinya adalah nilai dari perhitungan Y_{free} yang didapat.



Gambar 4.4 Plant Heat Exchanger dengan kontroler GPC

4.2.1 Kontroler GPC prediksi 1

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapat bahwa pada perhitungan dari nilai Y_{free} dengan nilai referensi (Y_r) yang sama dapat dipresentasikan atau digambarkan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.5 dibawah ini dengan temperatur 0°C - 80°C dan waktu 0-500 s . Dari hasil simulasi didapat bahwa respon berwarna biru menunjukkan *setpoint* atau keluaran yang diinginkan, respon yang berwarna merah menunjukkan keluaran dari *plant* dan respon yang berwarna hijau menunjukkan sinyal referensi yang ditulis pada tabel 4.1



Gambar 4.5. Hasil simulasi Prediksi 1 menggunakan kontroler GPC dan tanpa kontroler

Untuk melihat keadaan steady state dan error pada tiap temperatur yang diinginkan seperti suhu 30°C , 50°C , dan 70°C dapat dilihat pada table 4.1 dibawah ini.

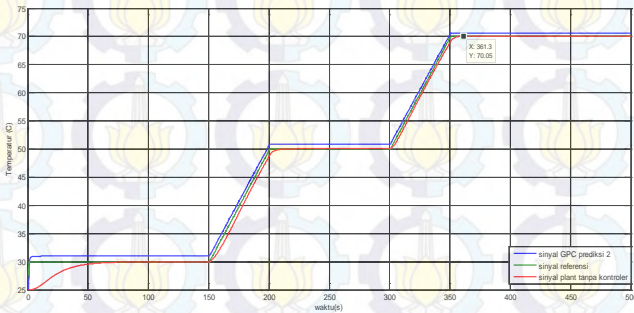
Tabel 4.1. Respons GPC Prediksi 1

Set point($^{\circ}\text{C}$)	Sinyal GPC Prediksi 1		Sinyal Plant Tanpa Kontroler	
	Settling Time	Error	Settling Time	Error
30°C	14 detik	1.6%	79.2detik	0.2 %
50°C	202. detik	0.06%	215.6 detik	0,66%
70°C	358 detik	0.9%	366 detik	0.11%

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada saat melakukan simulasi GPC1 terdapat respon temperature pada kondisi steady state dan error yang terlihat. Pada Temperatur 30°C dapat dilihat bahwa pada saat 8.4 detik terjadi ripple sebelum mencapai settling time 14 detik. Artinya bahwa respon GPC prediksi 1 ini ada pada kondisi steady state sampai rentang waktu 150s. Sedangkan sinyal plant tanpa kontroler pada saat 30°C keadaan steady statenya ada pada settling time 79.2 detik dengan error 0.2%. Hal ini membuktikan pada pengukuran temperature awal di 30°C bahwa dengan menggunakan GPC prediksi 1 de lay time yang diperoleh lebih cepat daripada respon dari sinyal plant tanpa kontroler. Sedangkan pada Temperatur 50°C terjadi ripple pada saat 201.5 detik. Dengan demikian pada Temperatur 50°C ini keadaan steady state nya ada pada saat settling time 202 detik setelah terjadi ripple sesaat pada saat 201.5 detik. Pada temperature 50°C keadaan steady state dengan menggunakan sinyal plant tanpa kontroler ada pada *settling time* 215.6 detik. Hal ini juga membuktikan bahwa dengan menggunakan GPC prediksi 1 pengukuran temperature pada 50°C delay time yang didapat lebih cepat daripada sinyal plant tanpa kontroler. Pada saat temperatur 70°C dengan menggunakan GPC prediksi 1, responnya menunjukkan kondisi steady state selama 358 detik. Artinya untuk mendapatkan temperatur 70°C yang semula dari temperatur 25°C dibutuhkan waktu 358 detik untuk mencapai kondisi steady state dengan error 0.9%. Sedangkan pada temperatur 70°C dengan menggunakan plant tanpa kontroler didapat bahwa responnya pada kondisi steady state membutuhkan waktu 366 detik dengan error 0.11%. Jika dibandingkan hal ini membuktikan bahwa untuk mencapai temperatur 70°C pada Heat Exchanger lebih baik dengan menggunakan GPC karena time delay yang dibutuhkan lebih cepat untuk mencapai kondisi steady state 70°C daripada keluaran dari *plant* (merah) tanpa kontroler. Dari ketiga analisa pada temperature 30°C, temperature 50°C, dan temperature 70°C dapat dilihat bahwa dengan menggunakan GPC respon yang diperoleh lebih cepat karena delay time yang diperoleh juga lebih cepat daripada menggunakan plant tanpa kontroler.

4.2.2 Kontroler GPC prediksi 2

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapat bahwa pada perhitungan dari nilai Y_{free} dengan nilai referensi (Y_r) yang sama dapat dipresentasikan atau digambarkan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.6 dibawah ini dengan temperatur 0°C - 80°C dan waktu 0-500 s . Dari hasil simulasi didapat bahwa respon berwarna biru menunjukkan *setpoint* atau keluaran yang diinginkan, respon yang berwarna merah menunjukkan keluaran dari *plant* dan respon yang berwarna hijau menunjukkan sinyal referensi yang ditulis pada tabel 4.2



Gambar 4.6. Hasil simulasi Prediksi 2 menggunakan kontroler GPC dan tanpa kontroler

Untuk melihat keadaan steady state dan error pada tiap temperatur yang diinginkan seperti suhu 30°C , 50°C , dan 70°C dapat dilihat pada table 4.2 dibawah ini.

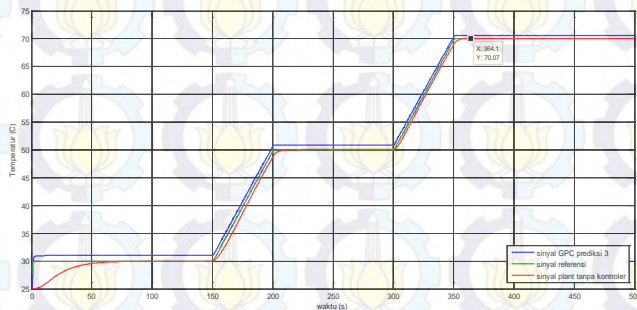
Tabel 4.2. Respons GPC Prediksi 2

Set point($^{\circ}\text{C}$)	Sinyal GPC Prediksi 2		Sinyal Plant Tanpa Kontroler	
	Settling Time	Error	Settling Time	Error
30°C	13.5 detik	3.3%	77.7 detik	0.23 %
50°C	203.5 detik	1.82%	215.3 detik	0,06%
70°C	354 detik	0.85%	361.3 detik	0.07%

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada saat melakukan simulasi GPC2 terdapat respon temperature pada kondisi steady state dan error yang terlihat. Pada Temperatur 30°C dapat dilihat bahwa pada saat 4.3 detik terjadi ripple sebelum mencapai settling time 13.5 detik. Artinya bahwa respon GPC prediksi 2 ini ada pada kondisi steady state sampai rentang waktu 150s. Sedangkan sinyal plant tanpa kontroler pada saat 30°C keadaan steady statenya ada pada settling time 77.7 detik dengan error 0.23%. Hal ini membuktikan pada pengukuran temperature awal di 30°C bahwa dengan menggunakan GPC prediksi 2 delay time yang diperoleh lebih cepat daripada respon dari sinyal plant tanpa kontroler. Sedangkan pada Temperatur 50°C tidak terjadi ripple. Dengan demikian pada Temperatur 50°C ini keadaan steady state nya dengan menggunakan GPC prediksi 2 ada pada saat settling time 203.5 detik. Pada temperature 50°C keadaan steady state dengan menggunakan sinyal plant tanpa kontroler ada pada *settling time* 215.6 detik. Hal ini juga membuktikan bahwa dengan menggunakan GPC prediksi 2 pengukuran temperature pada 50°C delay time yang didapat lebih cepat daripada sinyal plant tanpa kontroler. Pada saat temperatur 70°C dengan menggunakan GPC prediksi 2, responnya menunjukkan kondisi steady state pada saat 354 detik. Artinya untuk mendapatkan temperatur 70°C yang semula dari temperatur 25°C dibutuhkan waktu 354 detik untuk mencapai kondisi steady state dengan error 0.85%. Sedangkan pada temperatur 70°C dengan menggunakan plant tanpa kontroler didapat bahwa responnya pada kondisi steady state membutuhkan waktu 361.3 detik dengan error 0.07%. Jika dibandingkan antara GPC prediksi 2 dan sinyal plant tanpa kontroler hal ini membuktikan bahwa untuk mencapai temperatur 70°C pada Heat Exchanger lebih baik dengan menggunakan GPC karena time delay yang dibutuhkan lebih cepat untuk mencapai kondisi steady state 70°C daripada keluaran dari *plant* (merah) tanpa kontroler. Dari ketiga analisa pada temperature 30°C, temperature 50°C, dan temperature 70°C dapat dilihat bahwa dengan menggunakan GPC respon yang diperoleh lebih cepat karena delay time yang diperoleh juga lebih cepat daripada menggunakan plant tanpa kontroler.

4.2.3 Kontroler GPC prediksi 3

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapat bahwa pada perhitungan dari nilai Y_{free} dengan nilai referensi (Y_r) yang sama dapat dipresentasikan atau digambarkan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.7 dibawah ini dengan temperatur 0°C - 80°C dan waktu 0-500 s . Dari hasil simulasi didapat bahwa respon berwarna biru menunjukkan *setpoint* atau keluaran yang diinginkan, respon yang berwarna merah menunjukkan keluaran dari *plant* dan respon yang berwarna hijau menunjukkan sinyal referensi yang ditulis pada tabel 4.3



Gambar 4.7. Hasil simulasi Prediksi 3 menggunakan kontroler GPC dan tanpa kontroler

Untuk melihat keadaan steady state dan error pada tiap temperatur yang diinginkan seperti suhu 30°C , 50°C , dan 70°C dapat dilihat pada table 4.3 dibawah ini.

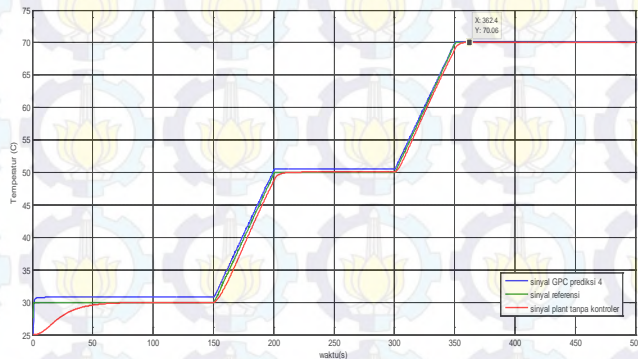
Tabel 4.3. Respons GPC Prediksi 3

Set point($^{\circ}\text{C}$)	Sinyal GPC Prediksi 3		Sinyal Plant Tanpa Kontroler	
	Settling Time	Error	Settling Time	Error
30°C	14.9 detik	3.3%	76.3 detik	0.23 %
50°C	202.5 detik	1.82%	220.5 detik	0,1%
70°C	355.6 detik	0.87%	364.1 detik	0.1%

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada saat melakukan simulasi GPC prediksi 3 terdapat respon temperature pada kondisi steady state dan error yang terlihat. Pada Temperatur 30°C dapat dilihat bahwa pada saat 4.9 detik terjadi ripple sebelum mencapai settling time 14.9 detik. Artinya bahwa respon GPC prediksi 3 ini ada pada kondisi steady state sampai rentang waktu 150s. Sedangkan sinyal plant tanpa kontroler pada saat 30°C keadaan steady statenya ada pada settling time 76.3 detik dengan error 0.23%. Hal ini membuktikan pada pengukuran temperature awal di 30°C bahwa dengan menggunakan GPC prediksi 3 delay time yang diperoleh lebih cepat daripada respon dari sinyal plant tanpa kontroler. Sedangkan pada Temperatur 50°C tidak terjadi ripple. Dengan demikian pada Temperatur 50°C ini keadaan steady state nya dengan menggunakan GPC prediksi 3 ada pada saat settling time 220.5 detik. Pada temperature 50°C keadaan steady state dengan menggunakan sinyal plant tanpa kontroler ada pada *settling time* 215.6 detik. Hal ini juga membuktikan bahwa dengan menggunakan GPC prediksi 3 pengukuran temperature pada 50°C delay time yang didapat lebih cepat daripada sinyal plant tanpa kontroler. Pada saat temperatur 70°C dengan menggunakan GPC prediksi 3, responnya menunjukkan kondisi steady state selama 355.6 detik. Artinya untuk mendapatkan temperatur 70°C yang semula dari temperatur 25°C dibutuhkan waktu 355.6 detik untuk mencapai kondisi steady state dengan error 0.87%. Sedangkan pada temperatur 70°C dengan menggunakan plant tanpa kontroler didapat bahwa responnya pada kondisi steady state membutuhkan waktu 364.1 detik dengan error 0.1%. Sama dengan hasil GPC prediksi 1 dan 2 ,Jika dibandingkan hal ini membuktikan bahwa untuk mencapai temperatur 70°C pada Heat Exchanger lebih baik dengan menggunakan GPC prediksi 3 karena karena time delay yang dibutuhkan lebih cepat untuk mencapai kondisi steady state 70°C daripada keluaran dari *plant* (merah) tanpa kontroler. .Dari ketiga analisa pada temperature 30°C,temperature 50°C, dan temperature 70°C dapat dilihat bahwa dengan menggunakan GPC respon yang diperoleh lebih cepat karena delay time yang diperoleh juga lebih cepat daripada menggunakan plant tanpa kontroler.

4.2.4 Kontroler GPC prediksi 4

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapat bahwa pada perhitungan dari nilai Y_{free} dengan nilai referensi (Y_r) yang sama dapat dipresentasikan atau digambarkan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.8 dibawah ini dengan temperatur 0°C - 80°C dan waktu 0-500 s . Dari hasil simulasi didapat bahwa respon berwarna biru menunjukkan *setpoint* atau keluaran yang diinginkan, respon yang berwarna merah menunjukkan keluaran dari *plant* dan respon yang berwarna hijau menunjukkan sinyal referensi yang ditulis pada tabel 4.4



Gambar 4.8. Hasil simulasi Prediksi 4 menggunakan kontroler GPC dan tanpa kontroler

Untuk melihat keadaan steady state dan error pada tiap temperatur yang diinginkan seperti suhu 30°C , 50°C , dan 70°C dapat dilihat pada table 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4. Respons GPC Prediksi 4

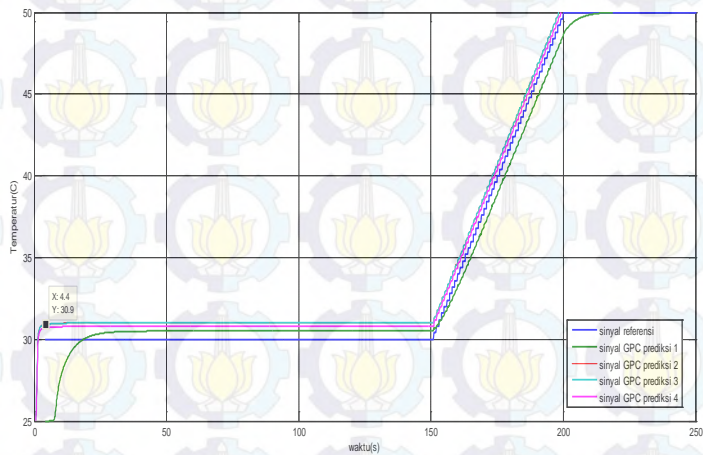
Set point($^{\circ}\text{C}$)	Sinyal GPC Prediksi 4		Sinyal Plant Tanpa Kontroler	
	Settling Time	Error	Settling Time	Error
30 $^{\circ}\text{C}$	14.4 detik	2.63%	76.8 detik	0.23%
50 $^{\circ}\text{C}$	203 detik	1.12%	215.7 detik	0.06%

70°C	351.5 detik	0.17%	362.4 detik	0.08%
------	-------------	-------	-------------	-------

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada saat melakukan simulasi GPC prediksi 4 terdapat respon temperature pada kondisi steady state dan error yang terlihat. Pada Temperatur 30°C dapat dilihat bahwa pada saat 2.2 detik terjadi ripple sebelum mencapai settling time 14.4 detik pada kondisi steady state. Artinya bahwa respon GPC prediksi 4 ini ada pada kondisi steady state sampai rentang waktu 150s. Sedangkan sinyal plant tanpa kontroler pada saat 30°C keadaan steady statenya ada pada settling time 76.8 detik dengan error 0.23%. Hal ini membuktikan pada pengukuran temperature awal di 30°C bahwa dengan menggunakan GPC prediksi 4 delay time yang diperoleh lebih cepat daripada respon dari sinyal plant tanpa kontroler. Sedangkan pada Temperatur 50°C tidak terjadi ripple. Dengan demikian pada Temperatur 50°C ini ke adaan steady state nya dengan menggunakan GPC prediksi 4 ada pada saat settling time 203 detik dan lebih cepat dari GPC prediksi 3. Pada temperature 50°C keadaan steady state dengan menggunakan sinyal plant tanpa kontroler ada pada *settling time* 215.6 detik. Hal ini juga membuktikan bahwa dengan menggunakan GPC prediksi 4 pengukuran temperature pada 50°C delay time yang didapat lebih cepat daripada delay time dengan menggunakan sinyal plant tanpa kontroler. Pada saat temperatur 70°C dengan menggunakan GPC prediksi 4, responnya menunjukkan kondisi steady state selama 351.5 detik. Artinya untuk mendapatkan temperatur 70°C yang semula dari temperatur 25°C dibutuhkan waktu 351.5 detik untuk mencapai kondisi steady state dengan error 0.17%. Sedangkan pada temperatur 70°C dengan menggunakan plant tanpa kontroler didapat bahwa responnya pada kondisi steady state membutuhkan waktu 362.4 detik dengan error 0.08%. Sama dengan hasil GPC prediksi 1, 2, dan 3 ,Jika dibandingkan hal ini membuktikan bahwa untuk mencapai temperatur 70°C pada Heat Exchanger lebih baik dengan menggunakan GPC prediksi 4 karena karena time delay yang dibutuhkan lebih cepat untuk mencapai kondisi steady state 70°C daripada keluaran dari *plant* (merah) tanpa kontroler. Dari ketiga analisa pada temperature 30°C, temperature 50°C, dan temperature 70°C dapat dilihat bahwa dengan menggunakan GPC respon yang diperoleh lebih cepat karena delay time yang diperoleh juga lebih cepat daripada menggunakan plant tanpa kontroler.

4.2.5 Perbandingan Kontroler GPC prediksi 1234 pada Temperatur 30°C

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapat bahwa pada perhitungan dari nilai Y_{rec} dengan nilai referensi (Y_r) yang sama dapat dipresentasikan atau digambarkan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.9 dibawah ini dengan temperatur 0°C - 80°C dan waktu 0-500 s . Dari hasil simulasi didapat bahwa respon berwarna hijau merupakan respon sinyal dari GPC1, respon berwarna merah merupakan respon sinyal sinyal dari GPC2, respon berwarna biru toska merupakan respon sinyal dari GPC3, dan respon berwarna pink merupakan respon dari GPC4.



Gambar 4.9. Hasil simulasi Prediksi 1234 pada Temperatur 30°C

Dari gambar 4.9 diatas didapat waktu dalam keadaan steady state dan persen error dari tiap-tiap GPC yang diprediksikan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini yang merupakan tabel perbandingan GPC prediksi 1, GPC prediksi 2, GPC prediksi 3 dan GPC prediksi 4 pada saat pengukuran temperature 30 °C.

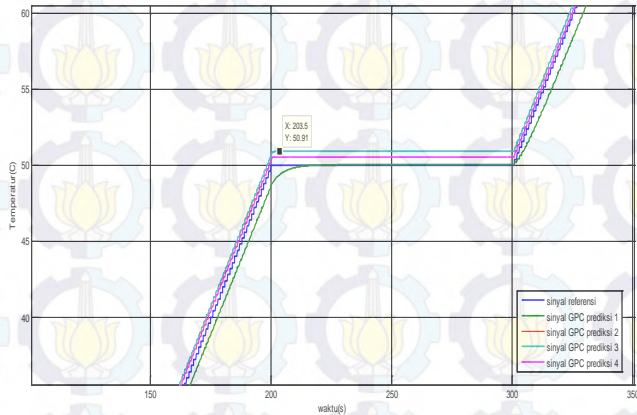
Tabel 4.5. Perbandingan GPC 1234 pada Temperatur 30°C

<i>Set point</i> (°C)	Sinyal GPC Prediksi 1234	
	Settling time	<i>Error</i>
GPC1	20.6 detik	0.5%
GPC2	5.4 detik	3%
GPC3	6.3 detik	1.8%
GPC4	7.7 detik	1.7%

Dari tabel 4.5 diatas dapat dianalisa bahwa pada GPC prediksi 1 terjadi ripple pada 25.1 detik sedangkan kondisi steady statenya ada pada saat 20.6 detik dengan eror 0.5%. . Sedangkan pada respon GPC prediksi 2 tidak terjadi ripple dan mencapai kondisi steady statenya pada saat 5.4 detik dengan error 3%.. Pada GPC prediksi 3 terjadi ripple pada 3.2 detik dan mencapai kondisi steady statenya pada saat 6.3 detik dengan error terbesar 1.8% dan terjadi lagi ripple pada saat 17.9 detik. Sedangkan pada sinyal GPC prediksi 4 t terjadi ripple pada saat 3 detik sebelum mencapai kondisi steady statenya pada saat 7.7 detik dan terjadi ripple lagi pada saat 10.7 detik. Pada pengukuran temperature 30°C ini respon dengan menggunakan GPC prediksi 2 ini lebih cepat responnya menuju temperature 30°C dengan waktu 5.4 detik daripada GPC prediksi 1, GPC prediksi 3, dan GPC prediksi 4. Adapun yang merupakan perbandingan GPC prediksi 1234 pada temperature 30°C didapat bahwa error terkecil pada saat simulasi yang dilakukan terdapat pada hasil GPC prediksi 1 yaitu 0.5%, yang artinya untuk mencapai 30°C error terkecil pada respon yang akan datang terjadi atau dapat diprediksikan pada saat 1 langkah kedepan bukan 2,3,4 langkah kedepan dengan waktu state 20.6 detik dengan lebar waktu 500 detik. untuk memprediksikan eror pada saat 2 langkah kedepan yaitu sebesar 3%, sedangkan untuk memprediksikan eror pada 3 langkah kedepan memiliki error 1.8%, dan untuk memprediksikan error 4 langkah kedepan yaitu diperoleh error 1.7%.

4.2.6 Perbandingan Kontroler GPC prediksi 1234 pada Temperatur 50°C

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapat bahwa pada perhitungan dari nilai Y_{rec} dengan nilai referensi (Y_r) yang sama dapat dipresentasikan atau digambarkan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.10 dibawah ini dengan temperatur 0°C - 80°C dan waktu 0-500 s . Dari hasil simulasi didapat bahwa respon berwarna hijau merupakan respon sinyal dari GPC1, respon berwarna merah merupakan respon sinyal sinyal dari GPC2, respon berwarna biru toska merupakan respon sinyal dari GPC3, dan respon berwarna pink merupakan respon dari GPC4.



Gambar 4.10. Hasil simulasi Prediksi 1234 pada Temperatur 50°C

Dari gambar 4.10 diatas didapat waktu dalam keadaan steady state dan persen error dari tiap-tiap GPC yang diprediksikan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini yang merupakan tabel perbandingan GPC prediksi 1, GPC prediksi 2, GPC prediksi 3 dan GPC prediksi 4 pada saat pengukuran temperature 50 °C.

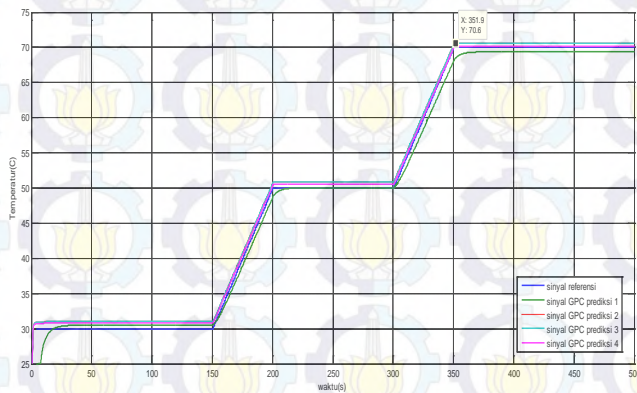
Tabel 4.6. Perbandingan GPC 1234 pada Temperatur 50°C

<i>Set point</i> (°C)	Sinyal GPC Prediksi 1234	
	Settling time	<i>Error</i>
GPC1	217.7 detik	0.2%
GPC2	203.5 detik	1.82%
GPC3	203.6 detik	1.82%
GPC4	203.7 detik	1.12%

Dari tabel 4.6 diatas dapat dianalisa bahwa pada GPC prediksi 1 terjadi ripple pada 215.4 detik sedangkan kondisi steady statenya ada pada saat 217.7 detik dengan eror 0.2%. .Sedangkan pada respon GPC prediksi 2 tidak terjadi ripple dan mencapai kondisi steady statenya pada saat 5.4 detik dengan error 3%.. Pada GPC prediksi 3 terjadi ripple pada 201.1 detik dan mencapai kondisi steady statenya pada saat 203.6 detik dengan error terbesar 1.82% .Sedangkan pada sinyal GPC prediksi 4 terjadi ripple pada saat 201 detik sebelum mencapai kondisi steady statenya pada saat 203.7 detik. Pada pengukuran temperature 50°C ini respon dengan menggunakan GPC prediksi 2 i ni lebih cepat responnya menuju temperature 50°C dengan waktu 203.5 detik daripada GPC prediksi 1,GPC prediksi 3, dan GPC prediksi 4. Adapun yang merupakan perbandingan GPC prediksi 1234 pada temperature 50°C didapat bahwa error terkecil pada saat simulasi yang dilakukan terdapat pada hasil GPC prediksi 1 yaitu 0.2% dengan waktu state 217.7 detik dengan lebar waktu 500 detik., yang artinya untuk mencapai 50°C error terkecil pada respon yang akan datang terjadi atau dapat diprediksikan pada saat 1 langkah kedepan bukan 2,3,4 langkah kedepan dengan waktu state 217.7 detik dengan lebar waktu 500 detik. untuk memprediksikan eror pada saat 2 langkah kedepan yaitu sebesar 1.82%, sedangkan untuk memprediksikan eror pada 3 langkah kedepan memiliki error 1.82%, dan untuk memprediksikan error 4 langkah kedepan yaitu diperoleh error 1.12%.

4.2.7 Perbandingan Kontroler GPC prediksi 1234 pada Temperatur 70°C

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapat bahwa pada perhitungan dari nilai Y_{frec} dengan nilai referensi (Y_r) yang sama dapat dipresentasikan atau digambarkan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.11 dibawah ini dengan temperatur 0°C - 80°C dan waktu 0-500 s . Dari hasil simulasi didapat bahwa respon berwarna hijau merupakan respon sinyal dari GPC1, respon berwarna merah merupakan respon sinyal sinyal dari GPC2, respon berwarna biru toska merupakan respon sinyal dari GPC3, dan respon berwarna pink merupakan respon dari GPC4.



Gambar 4.11. Hasil simulasi Prediksi 1234 pada Temperatur 70°C

Dari gambar 4.11 diatas didapat waktu dalam keadaan steady state dan persen error dari tiap-tiap GPC yang diprediksikan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini yang merupakan tabel perbandingan GPC prediksi 1, GPC prediksi 2, GPC prediksi 3 dan GPC prediksi 4 pada saat pengukuran temperature 70 °C.

Tabel 4.7. Perbandingan GPC 1234 pada Temperatur 70°C

<i>Set point(°C)</i>	<i>Sinyal GPC Prediksi 1234</i>	
	<i>Settling time</i>	<i>Error</i>
GPC1	371.1 detik	0.92%
GPC2	351.9 detik	0.85%
GPC3	353.4 detik	0.85%
GPC4	352.9 detik	0.18%

Dari tabel 4.7 diatas dapat dianalisa bahwa pada GPC prediksi 1 terjadi ripple pada 358 detik sedangkan kondisi steady statenya ada pada saat 371.1 detik dengan eror 0.92%. .Sedangkan pada r espon GPC prediksi 2 tidak terjadi ripple dan mencapai kondisi steady statenya pada saat 351.9 detik dengan error 0.85%.. Pada GPC prediksi 3 tidak terjadi ripple dan mencapai kondisi steady statenya pada saat 353.4 detik dengan error terbesar 0.85% .Sedangkan pada sinyal GPC prediksi 4 juga tidak terjadi ripple dan mencapai kondisi steady statenya pada saat 352.9detik. Pada pengukuran temperature 70°C ini respon dengan menggunakan GPC prediksi 2 ini lebih cepat responnya menuju temperature 70°C dengan waktu 351.9 detik daripada GPC prediksi 1,GPC prediksi 3, dan GPC prediksi 4. Adapun yang merupakan perbandingan GPC prediksi 1234 pada temperature 70°C didapat bahwa error terkecil pada saat simulasi yang dilakukan terdapat pada hasil GPC prediksi41 yaitu 0.18% dengan waktu state 352.9 detik dengan lebar waktu 500 detik., yang artinya untuk mencapai 70°C error terkecil pada respon yang akan datang terjadi atau dapat diprediksikan pada saat 4 langkah kedepan bukan 1,2,3, langkah kedepan dengan waktu state 352.9 detik dengan lebar waktu 500 detik. untuk memprediksikan eror pada saat 1 langkah kedepan yaitu sebesar 0.92%, sedangkan untuk memprediksikan eror pada 2 langkah kedepan memiliki error 0.85%, dan untuk memprediksikan e rror 4 langkah kedepan yaitu diperoleh error 0.18%.

BABV

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan pada pengerjaan tugas akhir ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. *Generalized Predictive Control* (GPC) termasuk dalam kategori konsep perancangan pengendali berbasis model persamaan beda dimana model yang didapat sangat tergantung terhadap model pendekatan yang digunakan.
2. Dengan menggunakan kontroler GPC, time delay yang didapat untuk mencapai temperatur 70°C lebih cepat daripada keluaran dari plant tanpa kontroler.
3. Pendekatan linear plant dengan menggunakan kontroler GPC menghasilkan respon yang stabil dan sesuai dengan nilai setpoint yang diinginkan.
4. Perhitungan nilai dari GPC sangat mempengaruhi keluaran dari respon yang diinginkan.
5. Pengendalian dengan menggunakan kontroler GPC4 pada set point yang diinginkan yaitu 70°C memiliki error terkecil yaitu 0.18% terhadap pendekatan linear *plant* dengan membandingkan secara langsung respon pada GPC1234.

5.2 Saran

Untuk penelitian yang akan datang, diharapkan adanya pengembangan dari segi *plant*, di mana *plant* yang digunakan adalah *real plant* dengan proses identifikasi terlebih dahulu. Sedangkan untuk meningkatkan performa dari *plant* dapat dirancang *Generalized Predictive Kontrol* (GPC) dengan model pendekatan yang spesifik, sehingga dapat diberikan batasan baik dalam mengatur kecepatan aliran fluida.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. D. W. Clarke, C. Mohtadi, and P. S. Tuffs, “*Generalized Predictive Control-Part 1. The Basic Algorithm*,” *Automatika*. vol. 23, no. 2, pp. 137-148, 1987.
- [2]. Belinda Chong, Mohd Nor B, 2010, “*Modelling of A Hot Water Drum and Heat Exchanger Process Control Training System*”.
- [3]. Ekasari M, Fathimah. " *Pengendali Temperatur Fluida Pada Heat Exchanger Dengan Menggunakan Algoritma Model Predictive Control (MPC)*". Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.2014
- [4]. Marlin, T.E, ProcessControl; *Design Process and Control System for Dynamic Performance*. New York : McGraw-Hill Company. 1995
- [5]. Antonio Flores T, “Modelling of a Dynamic Countercurrent Tubular Heat Exchanger” , 2002.
- [6]. Ogata, Katsuhiko, “Discrete-Time Kontrol Systems”, Prentice Hall, 1995.

RIWAYAT PENULIS



Jhonson Freddy Tambunan dilahirkan di Hataran Jawa Pematang Siantar. Penulis ini menamatkan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Hataran Jawa, , setelahnya di SMPN 2 Tanah Jawa dan SMAN 3 Pematang Siantar. Setelah menamatkan jenjang SMA penulis melanjutkan studinya pada Tahun 2010 di Jurusan D3 Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi kejenjang S1 di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang studi yang ditekuni oleh penulis adalah Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan. Pada bulan Januari 2016 penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir di Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS Surabaya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro.