

# MONITORING DAN PENGENDALIAN *CONTINUOUS FLOW MIXING* MENGGUNAKAN SIMATIC PCS 7 DENGAN METODE *MODEL PREDICTIVE CONTROL*

Anindya Dwi Risdhayanti NIM. 0810630032  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
E-mail: nie\_cky@yahoo.com

Pembimbing :

1.) Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, MT.,2.) M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.

## Abstrak

*Model Predictive Control* adalah metode aljabar linear untuk memprediksi sinyal urutan manipulasi variabel kontrol. MPC adalah sarana yang digunakan secara luas untuk menangani masalah besar kontrol multivariabel yang disertai dengan kendala-kendala di industri. Alat *Continuous Flow Mixing* adalah alternatif alat yang sering digunakan di industri untuk mempercepat proses pengerjaan suatu plant *mixing*. *Continuous Flow Mixing* yang dirancang pada skripsi ini adalah alat pencampuran dua cairan secara kontinyu dimana proses *dosing*, *mixing*, dan *drain* terjadi secara serempak. Masalah krusial yang terjadi pada *Continuous Flow Mixing* adalah proses pengukuran atau yang disebut dengan *dosing* pada skripsi ini yang akan dicoba untuk ditangani oleh kontroler *Model Predictive Control*. Penggunaan DCS tipe SIMATIC PCS 7 memudahkan dalam pembuatan program kontinyu maupun sekuensial untuk sistem yang kompleks dengan membuat program CFC dan SFC . Pengujian respon sistem dilakukan terhadap variasi *setting point*. Dari hasil pengujian didapatkan data-data yang diperoleh menunjukkan bahwa respon sistem cukup baik dalam mengejar nilai *setting point* dalam berbagai variasi nilai *setting point*.

**Kata Kunci:** *Model Predictive Control*, SIMATIC PCS 7, *Continuous Flow Mixing*

## I. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi otomatis semakin berkembang di masyarakat. Dalam perindustrian, hampir semua perusahaan membutuhkan otomatisasi mesin untuk menunjang proses produksi yang cepat, efisien, dan juga tidak membutuhkan banyak tenaga kerja. Bahan-bahan produksi yang gampang terkontaminasi keadaan lingkungan membutuhkan proses pengerjaan produksi yang cepat sehingga bahan tersebut tidak rusak atau bahkan membahayakan bagi lingkungan sekitar.

*Continuousmixing* digunakan untuk mencampur bahan-bahan secara kontinyu di dalam *mixer*. Pada proses *continuousmixing*, langkah-langkah untuk menimbang, memasukkan, mencampur, dan menghentikan pencampuran terjadi secara kontinyu dan serempak.

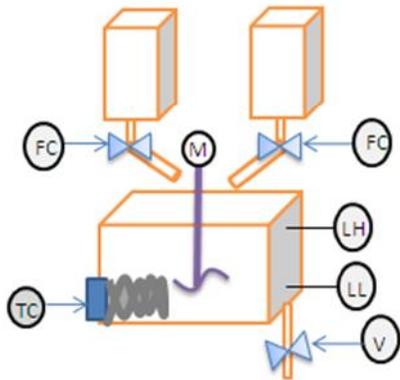
Dalam tesisnya, Suet Yan Deng (2002) menyatakan bahwa dalam proses industri, proses awal dalam menginputkan bahan untuk dicampur adalah kasus krusial yang dapat mempengaruhi kualitas produksi yang akan dihasilkan. *Distributed Control System* (DCS) mengacu pada sistem kontrol yang pada umumnya digunakan sistem manufaktur, proses, atau segala jenis system dinamis, (Wikipedia, 2012)

*Model Predictive Control* (MPC) adalah metode aljabar linear untuk memprediksi sinyal urutan manipulasi variabel kontrol. Setelah hasil manipulasi telah diperkirakan, kontroler kemudian dapat dilanjutkan dengan sinyal yang memberikan hasil yang diinginkan. MPC adalah sarana yang digunakan secara luas untuk menangani masalah besar kontrol multivariabel yang disertai dengan kendala-kendala di industri. (Tarmukan, 2003)

## II. PERANCANGAN SISTEM

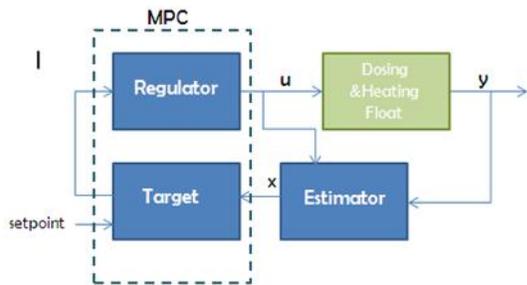
Meliputi diagram blok sistem, cara kerja sistem, gambar rancangan alat, konfigurasi hardware dan software pada SIMATIC PCS 7. Perancangan sistem alat *Continuous Flow Mixing* dirancang dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Karakteristik spesifikasi motor DC, solenoid valve, sensor level, sensor aliran, motor DC, heater, dan sensor temperatur.
- b. Penerapan *Distributed Control System* sebagai monitoring dan pengendalian proses.
- c. Spesifikasi umum kontroler *Model Predictive Control*.
- d. Karakteristik spesifikasi pemrograman SIMATIC PCS 7.
- e. Spesifikasi umum mengenai *Human Machine Interface* (HMI).

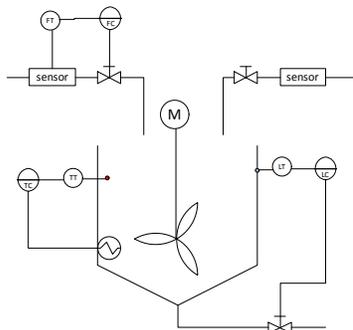


**Gambar 1.**Skema alat  
 Sumber : Perancangan

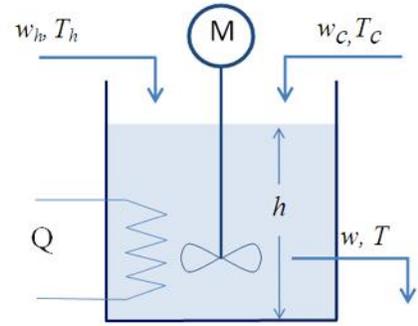
Perancangan diagram blok sistem dan gambar P&ID seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2 dan 3.



**Gambar 2.**Diagram Blok Pengaturan MPC  
 Sumber : Perancangan

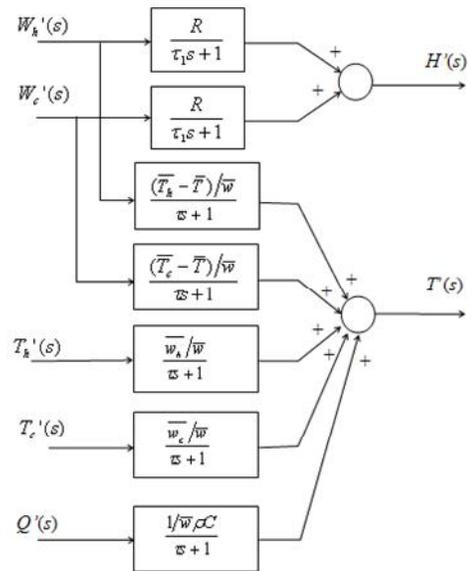


**Gambar 3.**P&ID Sistem  
 Sumber : Perancangan



**Gambar 4.**Plant Continuous Flow Mixing  
 Sumber : Perancangan

Gambar 4 menunjukkan gambar plant dengan ketinggian cairan,  $h$ , dan temperature,  $T$ , dalam tangki dikendalikan dengan mengatur laju aliran air (cairan) panas dan dingin, masing-masing  $w_h$  dan  $w_c$ , dan juga mengatur energi pemanas,  $Q$ . Temperatur masukan,  $T_h$  dan  $T_c$  dianggap sebagai variabel gangguan. Laju aliran keluaran,  $w$ , dijaga konstan melalui putaran pompa dan sifat-sifat cairan dianggap konstan (tidak dipengaruhi oleh temperatur luar). Dalam proses ini, volume cairan bervariasi terhadap waktu, keseimbangan energi dan massa.



**Gambar 5.** Diagram Blok dari MIMO mixing system  
 Sumber : Perancangan

**A. Prinsip Kerja**

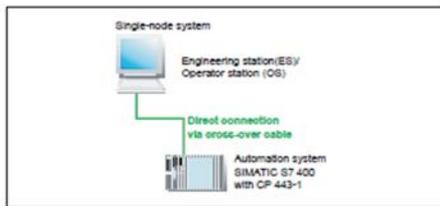
Penampung air terdiri dari dua penampung atas yaitu penampung 0109 yang berisi cairan berwarna biru dan penampung 1109 yang berisi cairan berwarna kuning. Keluaran cairan sesuai setpoint

yang dikontrol oleh Model Predictive Control dikenali oleh sensor aliran. Saat mulai dosing, motor pengaduk juga bergerak dan heater menyala. Kemudian cairan dikeluarkan sesuai setpoint keluaran yang telah ditentukan. Fokus pengerjaan pada skripsi ini adalah pengendalian aliran cairan dan temperatur oleh Model Predictive Control. Semua proses Continuous Flow Mixing tersebut dimonitor dan dikendalikan oleh DCS tipe SIMATIC PCS 7. Pengendaliannya dilakukan dengan membuat CFC, dan SFC. Untuk memonitor semua proses dilakukan pembuatan gambar proses menggunakan WinCC sebagai HMI.

**B. Perancangan Perangkat**  
**1. Perancangan Perangkat Keras**

**a. Konfigurasi Hardware dan Network**

Konfigurasi hardware dilakukan pada komputer yang digunakan sebagai Operator Station (OS). Pembuatan koneksi jaringan pada OS ini dilakukan sebagai komunikasi antara Programmable Logic Controller (PLC) dan engineering system (ES) sehingga data dapat download dari ES ke PLC. Dalam skripsi ini OS dan ES menggunakan komputer yang sama dan OS menggunakan koneksi yang sama ke PLC seperti halnya ES. Koneksi tersebut ditunjukkan oleh gambar 4. Konfigurasi hardware yang dirancang sesuai dengan yang ditunjukkan dalam tabel 1.



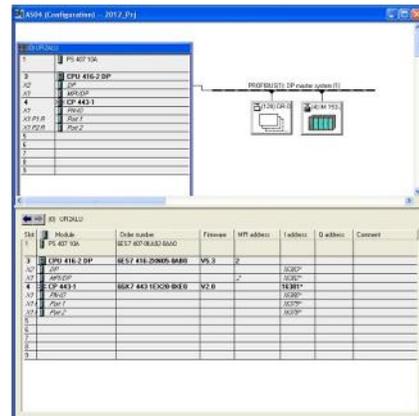
**Gambar 6.** Koneksi antara OS/ES ke AS/PLC  
*Sumber : SIMATIC PCS 7*

**Tabel 1.** Hardware yang digunakan

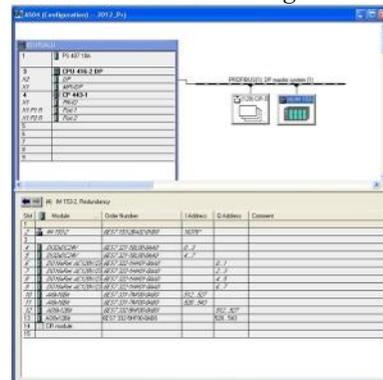
Komponen Hardware	Peralatan yang digunakan
PG atau PC dengan kartu jaringan standar	3Com Etherlink III IS
Power Supply	PS 407 10 A
CPU	CPU 416-2, firmware as of V5.3.1
CP 443-1	6GK7 443-1 EX11-0XE0, Firmware as of 2.0 with a fixed MAC address
Crossover	

Cable	
IM 153-2	6ES7 153-2BA02-0XB0
Digital Input	DI 32 x DC 24V (6ES7 321-1BL00-0AA0)
Digital Output	DO 16 x REL. AC 120/230V (6ES7 322-1HH01-0AA0)
Analog Input	AI 8x16 BIT (6ES7 331-7NF00-0AB0)
Analog Output	AO 8x12 BIT (6ES7 332-5HF00-0AB0)

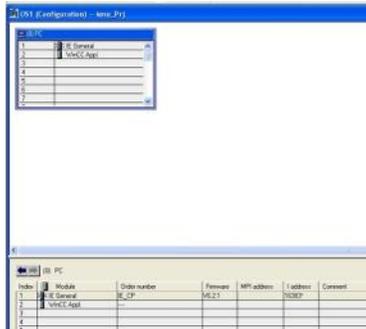
Gambar 5 menunjukkan tampilan saat menkonfigurasi Automation System (AS). Gambar 7 menunjukkan tampilan saat mengkonfigurasi IM 153-2, Digital Input, Digital Output, Analog Input, dan Analog Output. Gambar 8 menunjukkan tampilan saat mengkonfigurasi Operator Station (OS).



**Gambar 7.** Konfigurasi AS  
*Sumber : Perancangan*



**Gambar 8.** Konfigurasi IM 153-2, DI, DO, AI, AO  
*Sumber : Perancangan*



**Gambar 9.** Konfigurasi OS  
Sumber : Perancangan

b. Digital Input

Digital input yang dirancang adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

**Tabel 2.** Digital Input

Alamat	Keterangan
I 0.0	DI_CTRL_M1101
I 0.1	DI_CTRL_UV1909

c. Digital Output

Digital output yang dirancang adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

**Tabel 3.** Digital Output

Alamat	Keterangan
Q 0.0	DO_CTRL_M1101
Q 0.1	DO_CTRL_UV1909

d. Analog Input

Analog input yang dirancang adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

**Tabel 4.** Analog Input

Alamat	Keterangan
IW 514	AI_CTRL_TC3011
IW 516	AI_CTRL_FC0109
IW 528	AI_CTRL_FC1109

e. Analog Output

Analog output yang dirancang adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.

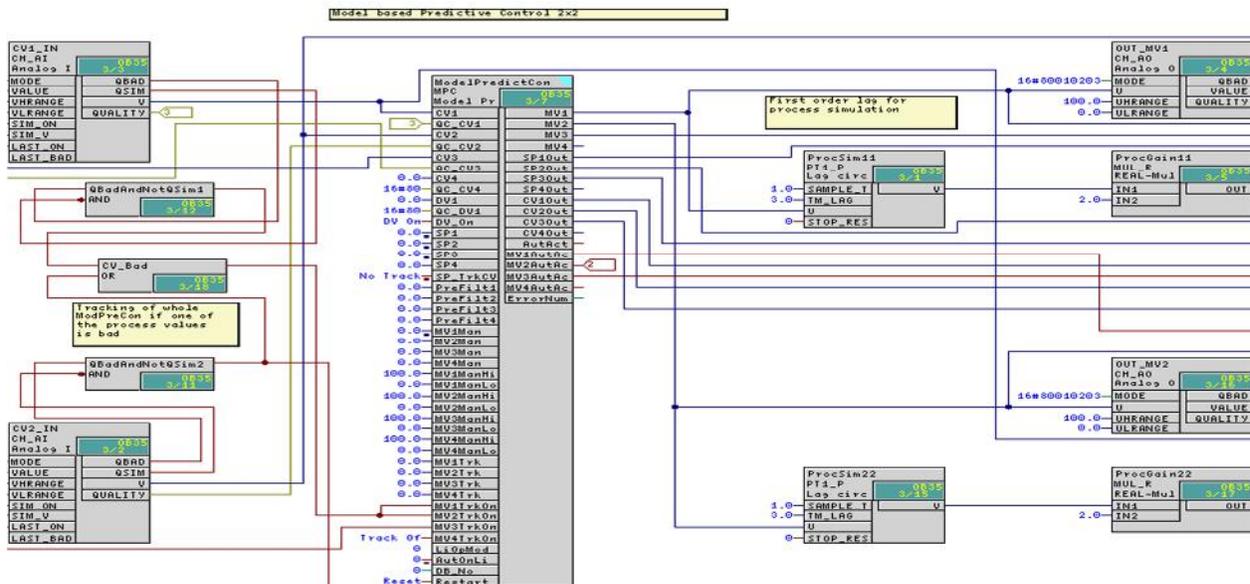
**Tabel 5.** Analog Output

Alamat	Keterangan
QW 514	AO_CTRL_TC3011
QW 516	AO_CTRL_FC0109
QW 528	AO_CTRL_FC1109

**2. Perancangan Perangkat Lunak**

Software yang harus diinstal terlebih dahulu sebelum membuat program adalah sebagai berikut:

- Windows XP Professional SP3
- Internet Explorer
- Message Queuing Service
- SQL server
- Software Package "PCS 7 Engineering"



**Gambar 10.** Chart Flow Control  
Sumber : Perancangan

a. Pembuatan *Continuous Function Chart* (CFC)

Seluruh operasi pada plant diuraikan dengan proses-proses kontinyu. Hal itu dicapai dengan membuat CFC pada CFC editor PCS 7. CFC chart dapat dikenali dari simbol yang ditunjukkan oleh . CFC dibuat dengan memasukkan blok yang ada dalam *library*. Di dalam *library* tersebut terdapat *single blocks* yaitu blok pengendalian proses atau pemantauan nilai yang sedang diukur. Input dan output dari blok tersebut kemudian saling dihubungkan di CFC *editor* dan diberikan nilai parameter. CFC chart tersebut berada di dalam *Plant Hierarchy* (PH) yang telah dibuat pada SIMATIC MANAGER. Gambar 10 menunjukkan chart pengendalian plant sistem menggunakan Model Predictive Control.

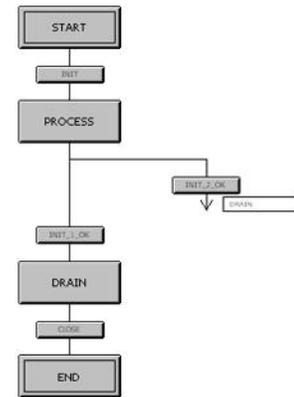
Gambar 10 dihubungkan dengan CH\_AI dengan alamat IW 518, IW 520 pada PLC. Dan CH\_AO dihubungkan dengan alamat QW 512 dan QW 514 pada PLC. Keluaran pada masing-masing CH\_AI dihubungkan dengan blok *dose* yang terdapat dalam Blok *dose* dihubungkan pula dengan blok INT\_P. Gambar 11 adalah chart *setting point* yang terdiri dari blok OP\_A\_LIM, OP\_D, MUL\_R, Mux2\_R. Blok-blok tersebut saling terhubung. Setpoint tersebut diatur parameter-parameternya untuk menentukan setpoint plant sistem.

b. Pembuatan *Sequential Function Chart* (SFC)

SFC adalah sistem kontrol sekuensial terpisah untuk memastikan eksekusi langkah demi langkah dengan *passing* kontrol dari satu keadaan ke keadaan selanjutnya yang tergantung dengan kondisi masing-masing. Dengan sistem kontrol sekuensial CFC chart dapat dikontrol berdasarkan dengan perubahan keadaan dan dapat diproses secara selektif. Sistem kontrol sekuensial terdiri dari 2 elemen dasar, yaitu:

- *The transition* adalah kondisi mengontrol kondisi setiap langkah. Transition direpresentasikan oleh persegi panjang kecil dalam SFC chart.
- *The Step* adalah pemrosesan aksi yang ditunjuk pada PLC. Hal tersebut dieksekusi sampai transisi berikutnya terpenuhi. Steps direpresentasikan oleh persegi panjang besar dalam SFC chart.

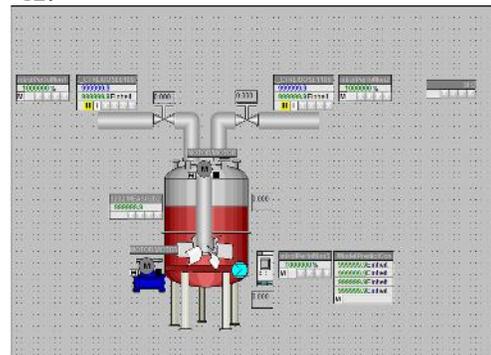
Gambar 11 menunjukkan SFC plant *Continuous Flow Mixing* yang dibuat pada SFC Editor.



Gambar 11. SFC Chart  
Sumber : Perancangan

C. Pembuatan Human Machine Interface dengan WinCC

Pembuatan gambar pada WinCC bertujuan agar operator dapat memonitor juga mengatur kerja sistem plant *Continuous Flow Mixing*. Tampilan pada WinCC ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Plant *Continuous Flow Mixing*  
Sumber : Perancangan

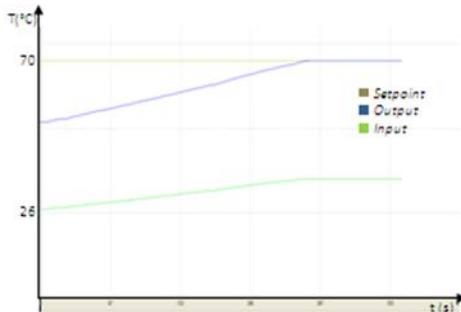
D. Pembuatan Program MATLAB Sistem *Continuous Flow Mixing*

Pembuatan program MATLAB bertujuan untuk mengetahui setpoint yang akan dimasukkan pada program SFC sebagai acuan alat untuk bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Gambar 13 menunjukkan model plant sistem yang dibuat pada Simulink MATLAB 2012 dengan acuan pada persamaan sistem yang telah dibuat.



## B. Pengujian Sistem Heating dengan Model Predictive Control

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon yang dihasilkan oleh kontroler *Model Predictive Control* dalam sistem *heating* pada *Continuous Flow Mixing*. Saat pengujian setpoint *heating* TC0202 yang ditentukan adalah 70°C.



**Gambar 16.** Pengujian Sistem Heating dengan setpoint 70 C  
Sumber : Pengujian

Gambar 16 menunjukkan garis dengan warna coklat menunjukkan setpoint, warna biru menunjukkan CV (*Controlled Variable*) atau *output* plant yang dalam hal ini adalah T, dan warna hijau menunjukkan MV (*Manipulated Variable*) atau *input* plant yang dalam hal ini adalah T1. didapatkan nilai *Settling Time* atau  $T_s$  dan *Steady State Error* atau  $E_{ss}$ , berikut akan dijelaskan pengertian *Settling Time* atau  $T_s$  dan *Steady State Error* atau  $E_{ss}$ , beserta perhitungannya.

- *Settling Time* atau  $T_s$  adalah waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah sekitar harga akhir yang nilainya ditentukan dengan presentase mutlak dari harga akhirnya (biasanya 5 % atau 2 %).  $T_s$  yang didapatkan dari pengujian ini adalah :

$T_s$  = waktu awal di posisi acuan - waktu akhir di posisi tujuan

$$T_s = 250.25 - 0$$

$$T_s = 250.25 \text{ s}$$

- *Steady State Error* atau  $E_{ss}$  adalah selisih antara nilai keluaran dengan nilai masukan pada saat kondisi steady state.  $E_{ss}$  yang didapatkan dari pengujian ini adalah:

$$E_{ss} = 0$$

## C. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sistem *Continuous Flow Mixing* berjalan sesuai dengan yang diharapkan atau tidak.

Setelah melakukan prosedur pengujian, maka dari tampilan SFC chart SIMATIC PCS 7 menunjukkan gambar seperti dalam Gambar 17.



**Gambar 17.** Tampilan SFC  
Sumber : Pengujian

Gambar 17 menunjukkan bahwa sistem berjalan sesuai dengan apa yang telah dirancang dengan adanya tanda centang dan tulisan “completed” yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah.

## IV. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian tiap blok dan pengujian sistem secara keseluruhan yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan DCS tipe SIMATIC PCS 7 dapat membantu dalam pembuatan program dengan sistem yang kompleks dengan pembuatan CFC, SFC, dan tampilan WinCC juga membantu dalam mengoptimalkan *plant* sesuai dengan setpoint yang telah dirancang
2. Model Predictive Control yang telah dirancang dan diimplementasikan pada SIMATIC PCS 7, *Continuous Flow Mixing* dalam hal ini pengendalian *dosing* dan *heating*, memberikan nilai yang cukup baik dari pengujian yang dilakukan. Untuk sistem *dosing* dengan setpoint yang ditentukan sebesar 2 liter, didapatkan nilai *Settling Time* atau  $T_s$  sebesar 54s. *Steady State Error* atau  $E_{ss}$  sebesar 0. Untuk sistem *heating* dengan setpoint yang ditentukan sebesar 70°C, didapatkan nilai

*Settling Time* atau  $T_s$  sebesar 250.25s dan *Steady State Error* atau  $E_{ss}$  sebesar 0.

## B. Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah:

1. Pembuatan mekanik yang baik dan lebih presisi akan membuat alat *Continuous Flow Mixing* semakin stabil dalam ketelitian dan kecepatannya.
2. Penambahan gangguan sistem sebagai masukan *Disturbance Variable* pada kontroler *Model Predictive Control* dapat menambah referensi bahwa *Model Predictive Control* mampu mengatasi gangguan terukur dan tak terukur untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. Gambar Sensor Aliran. <http://indoware.com/produk-334-waterflow-sensor.html>. Diakses tanggal 11 Mei 2012
- [2] Anonim. Gambar Valve. [http://www.weiku.com/products/Air\\_Gas\\_Pneumatic\\_Valve.html](http://www.weiku.com/products/Air_Gas_Pneumatic_Valve.html). Diakses tanggal 11 Mei 2012
- [3] Deng, Suet Yang. 2002. Non Linear & Linear MIMO Control of An Industrial Mixing Process. Department of Electrical & Computer Engineering, Mc Gill University Montreal.
- [4] Haugan, Thomas. 2001. Real-Time Model Predictive Control. Diploma Thesis Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.
- [5] Patra, Debata; Debasish Jena and Sunil Kumar Mohanty. 2007. Model Predictive Control. Thesis Department of Electronic and Communication Engineering, National Institute of Technology Rourkela.
- [6] Portillo, Patricia Maribel. 2008. QUALITY BY DESIGN FOR CONTINUOUS POWDER MIXING. Disertasi Graduate School-New Brunswick Rutgers, The State University of New Jersey.
- [7] Risdhayanti, Anindya Dwi and Rissa Agustin. 2011. PENERAPAN KONTROL OTOMATIS MENGGUNAKAN PLC PADA MESIN MIXING CDM DAN MESIN FILLING-PACKING ROVEMA DI PT.X INDONESIA KEJAYAN-PASURUAN. Laporan PKL Universitas Brawijaya, Malang.
- [8] SIMATIC PCS 7 Manual Book. Multivariable Model Predictive Control. 2005. SIEMENS
- [9] SIMATIC PCS 7 Manual Book. Process Control System Getting Started, Part 1, and Part 2. 2005. SIEMENS
- [10] Sumanto. Mesin Arus Searah.1994. Penerbit ANDI OFFSET, Jogjakarta.
- [11] Tarmukan. 2003. Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Model Predictive Control dengan MHSE sebagai Estimasi Variabel Keadaan. Thesis Teknik Elektro ITS, Surabaya.
- [12] Tarmukan and Radianto, Donny. 2005. Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi dengan Menggunakan Model Predictive Control. Penelitian Politeknik Negeri Malang.
- [13] Wikipedia. 2012. Distributed Control System. <http://wikipedia.com/wiki/DCS> . diakses tanggal 11 Mei 2012
- [14] Wikipedia. 2013. Termokopel. <http://id.wikipedia.org/wiki/Termokopel>. Diakses tanggal 13 Februari 2013
- [15] Wikipedia. 2013. Solenoid Valve. [http://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid\\_valve](http://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid_valve). Diakses tanggal 13 Februari 2013