

Desain Pengaturan *Level* pada *Coupled Tank Process* dengan Menggunakan Metode *Model Predictive Control*

Evira Dyah Puspitarini, Rushdianto Effendie, dan Josaphat Pramudijanto

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: evirapuspitarini@gmail.com, rusdhi@elect-eng.its.ac.id, jos@elect-eng.its.ac.id

Abstrak -- Plant level coupled tank digunakan pada kebutuhan industri yang melibatkan fluida sebagai penampung minyak atau cairan kimia. *Coupled tank* merupakan plant nonlinier yang tersusun dari dua buah tangki yang dihubungkan oleh sebuah pipa atau lubang saluran. Cara kerja dari tank ini dengan mengendalikan aliran dan laju air salah satu tangki sesuai kebutuhan. Kontrol level digunakan untuk menjaga titik set level terhadap nilai yang diberikan sehingga mampu menerima nilai-nilai set point secara dinamis.

Pada tugas akhir ini, digunakan metode *Model Predictive Control* untuk mengendalikan aliran dan laju air. Untuk mengaplikasikan *Model Predictive Control*, perumusan plant akan diubah menjadi plant linear. Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mendesain sistem pengendalian level dan flow pada coupled-tank process menggunakan kontroler *Model Predictive Control* yang dapat bekerja memprediksi perilaku sistem pada masa depan yang bergantung pada informasi sistem saat ini.

Pada pengujian didapatkan nilai N_p sebesar 10, nilai N_c sebesar 1, dan nilai tuning parameter sebesar 0,2. Sistem mengalami *settling time* pada detik ke-39,1002 pada tangki 1 dan detik ke-40,1051 pada tangki 2. Sistem mempunyai *error steady state* sebesar 0,015% pada tangki 1 dan 0,005% pada tangki 2.

Kata Kunci – *Coupled Tank*, Dekopling, *Model Predictive Control*, *Observer*

I. PENDAHULUAN

Pada industri proses seperti industri *petro-chemical*, pembuatan kertas, dan industri pengolahan air yang melibatkan cairan, suatu cairan akan dipompa dan dialirkan dari satu tangki ke tangki yang lain untuk diolah. Ada beberapa jenis tangki yang banyak digunakan pada industri proses. Ada jenis tangki yang tidak terhubung dengan tangki yang lain (*single tank*) dan ada yang tersusun dari beberapa tangki yang saling berhubungan (*coupled tanks*). [1]

Coupled tanks digolongkan pada *plant* dengan sistem *Multi Input Multi Output* (MIMO) atau proses *Multivariable*. Pengaturan pada *plant* MIMO lebih sulit dibanding *plant* dengan sistem *Single Input Single Output* (SISO). Karena adanya interaksi silang antara variabel masukan dan keluaran, sehingga metode kontrol yang diterapkan pada sistem SISO bisa tidak dapat digunakan secara baik pada sistem MIMO. [2]

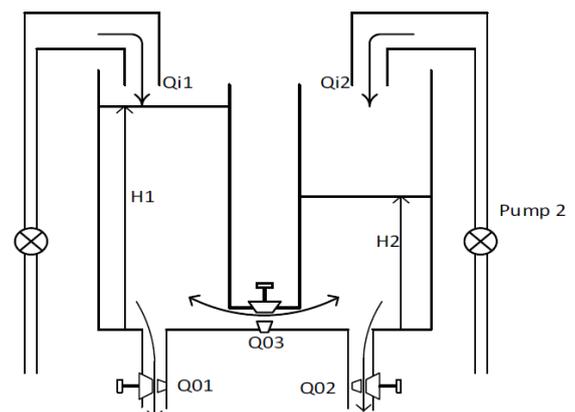
Pada pengaturan *level* air di *coupled tanks*, *level* pada tangki kedua akan dipengaruhi oleh aliran cairan dari tangki pertama. Pemindahan cairan dari satu tangki ke tangki yang lain menyebabkan berubahnya *level* cairan dalam tangki. Dalam pengaturan *level*, pemindahan cairan biasa disebut sebagai pembebanan pada *level*. Perubahan beban ini dapat mempengaruhi dari kinerja kontroler.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Coupled Tank [2]

Coupled Tank tersusun dari dua buah tangki yang dihubungkan oleh sebuah pipa atau lubang saluran. *Level* cairan pada tangki pertama ditunjukkan sebagai H_1 dan H_2 adalah *level* tangki kedua. Bila *input* kontrol adalah *flow* Q_1 , maka variabel yang akan dikontrol adalah kedua *level* H_1 dan H_2 , dengan *disturbance* yang disebabkan oleh variasi *flow* pada *valve* A, *valve* B. Disini akan timbul suatu sistem dengan dua tangki saling berinteraksi.

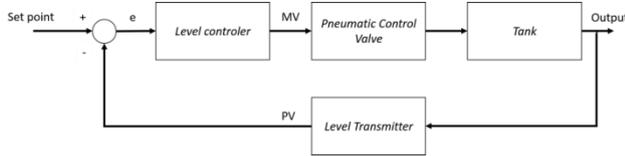
Sistem *Coupled Tank* dapat dikonfigurasi sebagai sistem SISO atau sebagai Sistem MIMO melalui manipulasi *input* dan *sectional* daerah *valve*.



Gambar 1. Bentuk Coupled Tank

Untuk pengaturan *level*, komponen yang dipakai berupa *servo valve*, yang mengatur besar kecilnya volume air yang dikeluarkan. Semakin terbuka kondisi dari *servo valve* maka aliran air yang keluar akan semakin besar, begitu pula sebaliknya. Buka tutupnya pergerakan *servo valve* diatur oleh sinyal kontrol yang dikirimkan oleh kontroler.

Indikator merupakan elemen penting pada plant *level coupled tank* yang berfungsi sebagai evaluasi *plant*. Indikator ini menunjukkan nilai *level* dan aliran yang sedang terjadi pada *plant level*. Nilai ini dijadikan bahan evaluasi oleh kontroler yang selanjutnya digunakan untuk mengatur pergerakan dari servo *valve* sehingga dapat digunakan untuk mengatur *level* air.

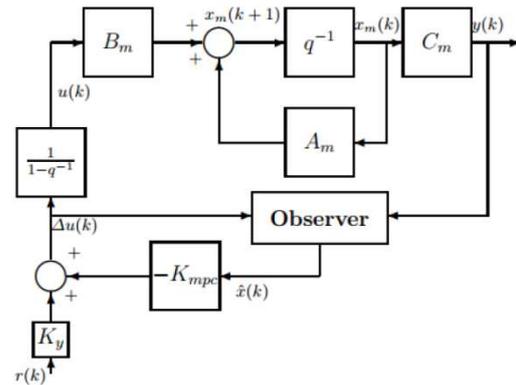
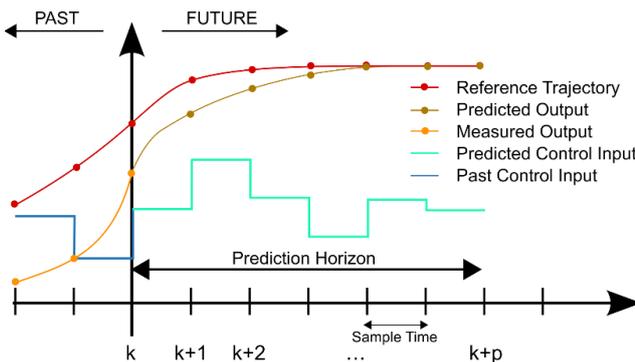


Gambar 2. Diagram Blok Plant

Pengontrolan yang dipakai pada *plant* ini adalah pengontrolan *loop* tertutup dengan *feedback*. Aksi pengontrolan ini keluarannya sangat memengaruhi proses pengontrolan sistem. Keluaran yang dihasilkan sangat tergantung pada keluaran pada aksi pengontrolan sebelumnya. Keluaran yang terjadi selalu diumpan balikkan sebagai pembandingan untuk keluaran selanjutnya. Apabila terjadi penyimpangan, maka kontroler akan melakukan penyesuaian sendiri untuk meminimalisir penyimpangan tersebut.

B. Model Predictive Control [3]

Model Predictive Control (MPC) adalah untuk menghitung trayektori dari sinyal kontrol *u* (*manipulated variable*) yang akan datang untuk mengoptimalkan perilaku yang akan datang (*future behavior*) pada sinyal *output* *y* pada sebuah *plant* berdasarkan pada nilai pengukuran saat ini dan prediksi dari nilai *output* yang akan datang. Objektif dari kontroler MPC adalah untuk menentukan nilai sinyal kontrol (*sequence of control moves*) sehingga nilai *output* yang diprediksi akan mendekati nilai *setpoint* dengan optimal.



Gambar 3. Struktur Kontroler MPC

Sistem *Model Predictive Control* didesain berdasarkan oleh model matematika *plant*. Model *plant* yang akan digunakan untuk desain *system control* dirubah menjadi model *state space* yang diperlukan untuk memprediksi respon kedepan yang diwakilkan oleh *variable* saat ini. Untuk mempermudah, diasumsikan *plant* merupakan sistem *single-input* dan *single output* yang dapat dideskripsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} x_m(k + 1) &= A_m x_m(k) + B_m u(k) \\ y(k) &= C_m x_m(k) \end{aligned} \tag{1}$$

di mana *u* adalah variabel manipulasi, *y* adalah variabel output dan *x_m* adalah variabel *state*. Dikarenakan prinsip dari *receding horizon control*, dimana *state* saat ini dibutuhkan untuk menghitung prediksi dan kontrol, maka dapat diasumsikan bahwa *input* *u(k)* tidak dapat mempengaruhi *output* *y(k)* pada waktu yang sama.

Untuk dapat menerapkan kontroler MPC pada suatu *plant*, maka kita perlu mengubah bentuk *state space* Persamaan 2 menjadi bentuk *augmented model*. Adapun bentuk *augmented model* dapat didefinisikan sebagai Persamaan 3.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \Delta x_m(k+1) \\ y(k+1) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_m & o_m^T \\ C_m A_m & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} B_m \\ C_m B_m \end{bmatrix} \Delta u(k) \\ (k) &= \begin{bmatrix} c \\ o_m & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{2}$$

dimana $o_m = [0 \ 0 \ \dots \ 0]$, sedangkan matriks *A*, *B*, dan *C* disebut dengan matriks *augmented* yang akan digunakan untuk desain dari *predictive control*.

Setelah mendefinisikan *augmented model*, langkah selanjutnya adalah menentukan matriks *predicted output* (*F*) dan matriks *future control* (Φ) berdasarkan Persamaan 4.

$$Y = Fx(k_i) + \Phi \Delta U \tag{3}$$

di mana matriks *F*, Φ , dan ΔU dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\Delta U = [u(k_i) \ \Delta u(k_i + 1) \ \dots \ \Delta u(k_i + N_c - 1)]^T$$

$$F = \begin{bmatrix} CA \\ CA^2 \\ CA^3 \\ \vdots \\ CA^{N_p} \end{bmatrix} \tag{3.11}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} CB & 0 & 0 & \dots & 0 \\ CAB & CB & 0 & \dots & 0 \\ CA^2B & CAB & CB & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ CA^{N_p-1} & CA^{N_p-2} & CA^{N_p-3} & \dots & CA^{N_p-N_c} \end{bmatrix} \tag{4}$$

N_c merupakan nilai *control horizon*, yaitu jumlah langkah kontrol berkelanjutan yang diterapkan dan diprediksi oleh kontroler MPC dalam sebuah *sampling time*. Selain itu, variabel *output* terprediksi dapat diperkirakan dan diprediksi dalam jumlah sampel N_p , dimana N_p merupakan nilai *prediction horizon*. Sebagai catatan, nilai N_c harus lebih kecil atau sama dengan nilai N_p .

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Pemodelan Sistem [4]

Identifikasi Sistem Persamaan *plant* dapat diperoleh dari persamaan kesetimbangan massa dan hukum Bernoulli. Dinamika *plant* ini dapat dimodelkan dengan persamaan diferensial sebagai berikut.

$$\frac{dH_1(t)}{dt} = \frac{k_1}{A} U_1(t) - \frac{\beta_1 a}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_1}} H_1(t) + \frac{\beta_x a}{A} \sqrt{\frac{g}{2|h_2 - h_1|}} [H_2(t) - H_1(t)] \tag{3.1}$$

$$\frac{dH_2(t)}{dt} = \frac{k_2}{A} U_2(t) - \frac{\beta_2 a}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_2}} H_2(t) - \frac{\beta_x a}{A} \sqrt{\frac{g}{2|h_2 - h_1|}} [H_2(t) - H_1(t)] \tag{5}$$

Bentuk *transfer function Coupled Tank* didapat dari hasil identifikasi sistem sebelumnya, yaitu:

$$\begin{bmatrix} H_1(s) \\ H_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(s) \\ u_2(s) \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

$$G_{11}(s) = \frac{\frac{k_1}{A} \left(s + \frac{T_x + T_2}{T_1 T_x} \right)}{s^2 + \frac{(T_1 T_x + T_2 T_x + 2T_1 T_2)}{T_1 T_2 T_x} s + \left(\frac{1}{T_1 T_2} + \frac{1}{T_1 T_x} + \frac{1}{T_2 T_x} \right)} \tag{3.10}$$

$$G_{12}(s) = \frac{\frac{k_2}{A} \left(\frac{1}{T_x} \right)}{s^2 + \frac{(T_1 T_x + T_2 T_x + 2T_1 T_2)}{T_1 T_2 T_x} s + \left(\frac{1}{T_1 T_2} + \frac{1}{T_1 T_x} + \frac{1}{T_2 T_x} \right)}$$

$$G_{21}(s) = \frac{\frac{k_1}{A} \left(\frac{1}{T_x} \right)}{s^2 + \frac{(T_1 T_x + T_2 T_x + 2T_1 T_2)}{T_1 T_2 T_x} s + \left(\frac{1}{T_1 T_2} + \frac{1}{T_1 T_x} + \frac{1}{T_2 T_x} \right)} \tag{3.12}$$

$$G_{22}(s) = \frac{\frac{k_2}{A} \left(s + \frac{T_x + T_1}{T_1 T_x} \right)}{s^2 + \frac{(T_1 T_x + T_2 T_x + 2T_1 T_2)}{T_1 T_2 T_x} s + \left(\frac{1}{T_1 T_2} + \frac{1}{T_1 T_x} + \frac{1}{T_2 T_x} \right)} \tag{3.13}$$

$$T_1 = \frac{A}{\beta_1 a} \sqrt{\frac{2h_1}{g}}, \quad T_2 = \frac{A}{\beta_2 a} \sqrt{\frac{2h_2}{g}}, \quad T_x = \frac{A}{\beta_x a} \sqrt{\frac{2|h_1 - h_2|}{g}} \tag{3.14}$$

Lalu ditentukan parameter dan titik kerja untuk *plant* yang ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Parameter Sistem

A (cm ²)	66,25
a (cm ²)	0,1963
β_1	0,35903
β_2	0,45848
β_x	0,38705

Tabel 3. 2 Titik Kerja *Plant*

u_1 (V)	2,5
u_2 (V)	2
\bar{h}_1 (x 10% Range)	2,749
\bar{h}_2 (x 10% Range)	3,262
k_1 (cm ³ /V. s)	2,88
k_2 (cm ³ /V. s)	2,588

Dengan masukannya berupa tegangan ke pompa yang ditunjukkan dalam lambang $u_1(t)$, $u_2(t)$. Keluarannya berupa ketinggian air pada tangki 1 dan 2 yang ditunjukkan dalam $h_1(t)$, $h_2(t)$.

$$G_{11}(s) = \frac{0,22623s + 1,15898e-3}{s^2 + 0,01755s + 6,3009e-7} \tag{6}$$

$$G_{11}(s) = \frac{-0,00070829}{s^2 + 0,01755s + 6,3009e-7} \tag{7}$$

$$G_{11}(s) = \frac{-0,0017427}{s^2 + 0,01755s + 6,3009e-7} \tag{8}$$

$$G_{11}(s) = \frac{0,442288s + 2,19332e-3}{s^2 + 0,01755s + 6,3009e-7} \tag{9}$$

B. Dekopling

Pada sistem *Coupled Tank Plant* ini, masing-masing *input* mempengaruhi kedua *output*. Oleh karena itu, dirancang

suatu metode dekopling untuk menghilangkan pengaruh interaksi *input-output*. Dekopling yang akan dirancang ini, dapat meminimalisir gangguan pada *plant*, ketika salah satu *input* diberi gangguan sehingga membuat *plant* menjadi lebih stabil.

Persamaan dekopling didapat dari memasukkan nilai matriks *transfer function Coupled Tank Plant* yang telah didapatkan dari persamaan (6) sampai (9). Persamaan matriks didapat dari penghitungan sebagai berikut:

$$D(s) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-G_{12}(s)}{G_{11}} \\ \frac{-G_{21}(s)}{G_{22}(s)} & 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

Transfer function yang didapat adalah sebagai berikut:

$$D_{12}(s) = \frac{-0,00070829}{0,22623s+1,15898e-3} \tag{11}$$

$$D_{21}(s) = \frac{-0,0017427}{0,442288s+2,19332e-3} \tag{12}$$

(3.21)

C. Perancangan Kontroler MPC

1) Perencanaan Model *State-Space*

Fungsi alih tangki 1 adalah sebagai berikut:

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{b_0z^2+b_1z+b_2}{z^2+a_1z+a_2} = \frac{0,2262z+0,001159}{z^2+0,0175z+6,301e-7} \tag{13}$$

Fungsi alih tangki 2 adalah sebagai berikut:

$$Y(z) = \frac{b_0z^2+b_1z+b_2}{z^2+a_1z+a_2}$$

Gambar 5. Bentuk Dekopling

$$\frac{0,442288z+2,19332e-3}{z^2+0,01755z+6,3009e-7} \tag{14}$$

Bentuk *state-space* yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah bentuk *controllable canonical form*. Bentuk *state-space* untuk orde 2 tersebut mempunyai struktur sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_2 & -a_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(k)$$

$$y(k) = [b_2 - a_2b_0 \quad b_1 - a_1b_0] \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} \tag{15}$$

Berdasarkan bentuk di atas, maka model *state-space* dari Persamaan (13) dan (14) dapat disimpulkan sebagai berikut:

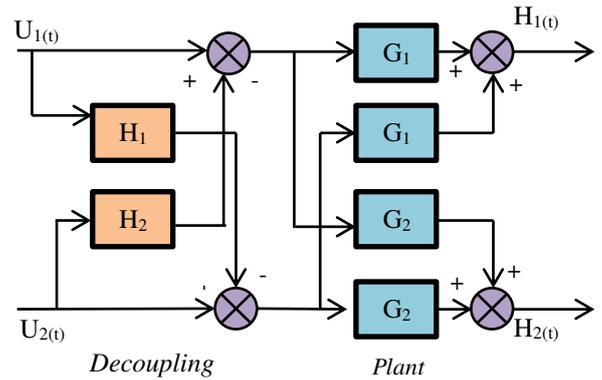
Bentuk *state-space* pada tangki 1:

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -6,301e-7 & -0,0175 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(k)$$

$$y(k) = [0,001159 \quad 0,2262] \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} \tag{16}$$

Bentuk *state-space* pada tangki 2:

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -6,301e-7 & -0,0175 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(k) \tag{17}$$



2) Desain *Augmented Model*

Setelah mendapatkan nilai *state-space* dari sistem, langkah selanjutnya adalah mengubah *state-space* tersebut ke dalam bentuk *augmented model*. Berdasarkan Persamaan (3), dapat disimpulkan bahwa *augmented model* dari sistem adalah sebagai berikut:

Desain *Augmented model* untuk Tangki 1:

$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ \Delta x_m(k+1) \\ y(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -6,301e-7 & -0,0175 & 0 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0,2262 \end{bmatrix} \Delta u(k)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_m(k+1) \\ y(k+1) \end{bmatrix}$$

Desain *Augmented model* untuk Tangki 2:

$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ \Delta x_m(k+1) \\ y(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -6,301e-7 & -0,0175 & 0 \\ -0,0000 & -0,0055 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ \Delta x_m(k) \\ y(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0,442288 \end{bmatrix} \Delta u(k)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_m(k+1) \\ y(k+1) \end{bmatrix}$$

Matriks A, B, C yang merupakan bentuk *augmented model* akan digunakan selanjutnya dalam merancang sebuah kontroler MPC.

3) Penentuan Parameter dan Gain Kontroler MPC

Pada perancangan kontroler MPC pada tangki 1, akan digunakan parameter *prediction horizon* sebesar 10 langkah, *control horizon* senilai 1 langkah, dan tuning parameter indeks performansi sebesar 0,2.

Berdasarkan parameter diatas dan Persamaan 4, pada tangki 1 dapat ditentukan matriks *F* dan Φ sebagai berikut:

$$F = \begin{bmatrix} -0,0000 & -0,0028 & 1 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \\ -0,0000 & -0,0028 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0,2262 \\ 0,2234 \\ 0,2234 \\ 0,2234 \\ 0,2234 \\ 0,2234 \\ 0,2234 \\ 0,2234 \\ 0,2234 \\ 0,2234 \end{bmatrix}$$

Setelah mendapatkan matriks F dan Φ , parameter selanjutnya yang akan dicari adalah $gain$ dari kontroler MPC. $Gain$ tersebut adalah K_{MPC} dan K_y . Untuk mencari nilai K_{MPC} , terlebih dahulu kita harus mencari nilai dari matriks Y sebagai berikut:

$$Y = (\Phi^T \Phi + \bar{R})^{-1} (\Phi^T F) \quad (21)$$

Nilai $Gain$ K_{MPC} merupakan baris pertama dari matriks Y . Nilai K_y merupakan kolom ketiga dari baris pertama matriks Y . Oleh karena itu, nilai $gain$ K_{MPC} dapat kita simpulkan sebagai matriks berikut.

$$K_{MPC} = [-0,0000 \quad -0,0088 \quad 3,1937]$$

$$K_y = 3,1937$$

Pada perancangan kontroler MPC pada tangki 2, akan digunakan parameter $prediction$ horizon sebesar 10 langkah, $control$ horizon senilai 1 langkah, dan tuning parameter indeks perfomansi sebesar 0,2.

Berdasarkan parameter diatas dan Persamaan 4, pada tangki 2 dapat ditentukan matriks F dan Φ sebagai berikut:

$$F = \begin{bmatrix} -0,0000 & -0,0055 & 1 \\ -0,0000 & -0,0054 & 1 \\ -0,0000 & -0,0055 & 1 \\ -0,0000 & -0,0055 & 1 \\ -0,0000 & -0,0055 & 1 \\ -0,0000 & -0,0055 & 1 \\ -0,0000 & -0,0054 & 1 \\ -0,0000 & -0,0055 & 1 \\ -0,0000 & -0,0055 & 1 \\ -0,0000 & -0,0055 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0,4423 \\ 0,4367 \\ 0,4368 \\ 0,4368 \\ 0,4368 \\ 0,4368 \\ 0,4368 \\ 0,4368 \\ 0,4368 \\ 0,4368 \end{bmatrix}$$

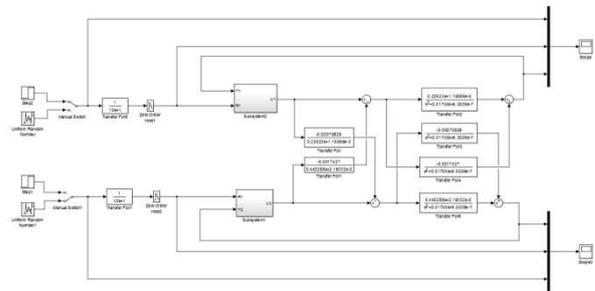
Nilai $Gain$ K_{MPC} merupakan baris pertama dari matriks Y . Nilai K_y merupakan kolom ketiga dari baris pertama matriks Y . Oleh karena itu, nilai $gain$ K_{MPC} dapat kita simpulkan sebagai matriks berikut.

$$K_{MPC} = [-0,0000 \quad -0,0113 \quad 2,0699]$$

$$K_y = 2,0699$$

IV. HASIL PERCOBAAN DAN ANALISA

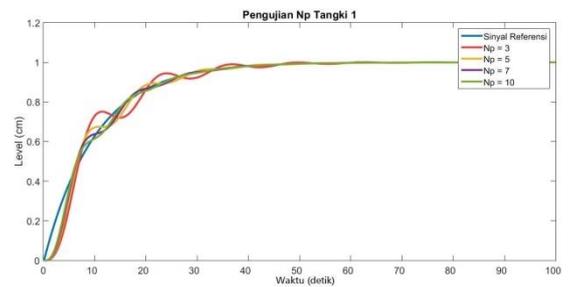
Tahap simulasi digunakan untuk mengetahui performa dari kontroler MPC dalam meminimalkan nilai $error$ antara respon dengan referensi. Tahap simulasi penting dilakukan sebelum tahap implementasi untuk memastikan bahwa perancangan kontroler sudah memenuhi performa yang diharapkan. Blok diagram simulasi ditunjukkan seperti Gambar 6. Secara garis besar, diagram blok simulasi sistem terdiri dari $state-space$ sistem, penguatan atau $gain$ MPC dan subsistem $observer$. Blok diagram dari simulasi sistem dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Simulink Plant

Variabel pertama yang akan diuji pada sistem dan kontroler MPC adalah pengaruh nilai $prediction$ horizon atau N_p . Terlihat dari Gambar 7, bahwa respon yang dihasilkan oleh sistem akan berbeda-beda seiring dengan parameter $prediction$ horizon yang berbeda pula.

Pada nilai $N_p = 3$, terlihat bahwa respon sudah mengikuti $tracking$ setpoint yang diberikan. Tetapi, seperti terlihat pada Gambar 7, $overshoot$ yang dihasilkan oleh sistem sangat tinggi. Oleh karena itu, perlu di-tuning lagi nilai dari $prediction$ horizon agar respon yang dihasilkan tidak mengalami $overshoot$.

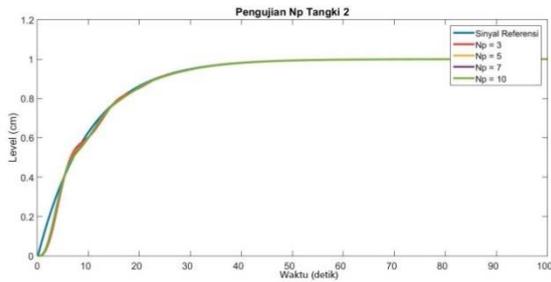


Gambar 7. Respon Tangki 1

Setelah melakukan beberapa kali pengujian, akhirnya ditemukan nilai $N_p = 10$. Respon yang dihasilkan jauh lebih baik dibandingkan nilai $N_p = 3$. Respon yang dihasilkan mengalami $overshoot$ paling kecil di antara nilai N_p yang lain. Akan tetapi, terlihat bahwa respon yang dihasilkan lebih lambat daripada nilai $N_p = 3$.

Begitu juga dengan tangki 2, dipasang nilai $N_p = 10$. Respon yang dihasilkan mengalami $overshoot$ paling kecil di

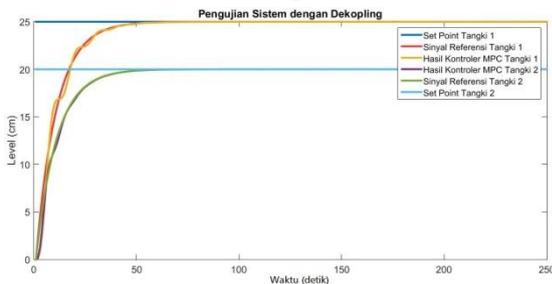
antara nilai N_p yang lain. Akan tetapi, terlihat bahwa respon yang dihasilkan lebih lambat daripada nilai $N_p = 3$.



Gambar 8. Respon Tangki 2

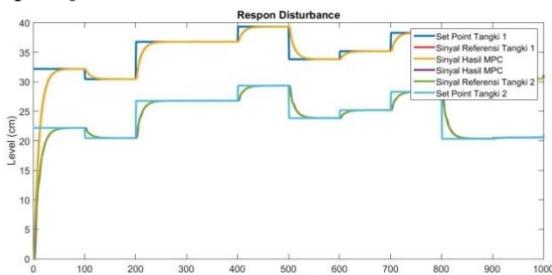
Setelah mendapatkan *Prediction Horizon* dan *Control Horizon* yang sesuai, Kontroler MPC akan dipasang pada tangki 1 dan tangki 2 untuk melihat apakah sinyal yang dibentuk mengikuti sinyal *reference*. Gambar 8 menunjukkan respon *plant* dengan kontroler, terlihat bahwa respon pemodelan tangki 1 dan 2 dengan menggunakan MPC berimpit dengan respon dari model yang diinginkan

Pada Gambar 7 dibawah adalah dimana respon *input* beban berubah untuk membuktikan bahwa kontroler MPC dapat bertahan pada nilai *setpoint* ketika diberi *disturbance random* dengan *input* yang menunjukkan *real system* bahwa beban tidak dapat terprediksi. *Input disturbance random* berubah setiap 70 detik, ketika respon kontroler sudah mencapai *steady state* sesuai pada model yang diinginkan dengan nilai *settling* sebesar 25,2 detik namun respon asli *plant* belum mencapai *steady state*.



Gambar 9. Respon Plant

Pada pengaturan *level* pada tangki gangguan beban ini seperti dibukannya *valve* aliran keluar dari fluida pada saat pengisian fluida ke dalam tangki. Simulasi sistem pengaturan *level* dengan diberikannya beban ini bertujuan untuk menguji seberapa cepat kontroler mampu mengembalikan respon menuju ke kondisi stabil ketika diberi gangguan. Selain itu juga dilihat seberapa tahan sistem dengan sebuah kontroler dalam menghadapi pembebanan yang ada, dikarenakan juga pembebanan pada sistem dapat mengakibatkan perubahan parameter pada *plant*.



Gambar 10. Respon Noise

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi, terlihat bahwa respon ketinggian fluida tangki terhadap waktu dapat mengikuti sinyal referensi setelah diberi kontroler MPC. Semakin besar nilai *prediction horizon* dan *tuning parameter*, respon yang dihasilkan akan semakin lambat dan halus. Sebaliknya, semakin kecil nilai *prediction horizon* dan *tuning parameter* akan mengakibatkan respon yang semakin cepat walaupun dapat menimbulkan *overshoot* yang semakin tinggi. Jika nilai *control horizon* dan *tuning parameter* semakin besar, maka sistem akan memiliki waktu respon yang lebih cepat dengan kekurangan *overshoot* yang semakin tinggi. Adapun jika nilai *control horizon* dan *tuning parameter* semakin kecil, respon yang dihasilkan sistem akan semakin halus walaupun waktu respon akan semakin lambat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad Sadli, "Disain Kontroler PI dengan Decoupling pada Sistem Kendali Level Coupled Tank", Jurnal ECOTIPE, ISSN 2355-5068, Volume 1, No. 2, Oktober 2014.
- [2] Arjin Numsomran, "Design of-DOF PI Controller with Decoupling for Coupled-Tank Process," International Conference on Control, Pathumwan Institute of Technology, 2007.
- [3] E. F. Camacho, "Model Predictive Control (Advanced Textbooks in Control and Signal Processing)", Springer, Inggris, 2000.
- [4] Chatchaval Pornpatkul, (2009) "Decentralized Fuzzy Logic Controller for TITO Coupled Tanks Process, Proceeding IEE, Department of Instrumentation Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand, CROSSICE International Joint Conference.