

BAB IV

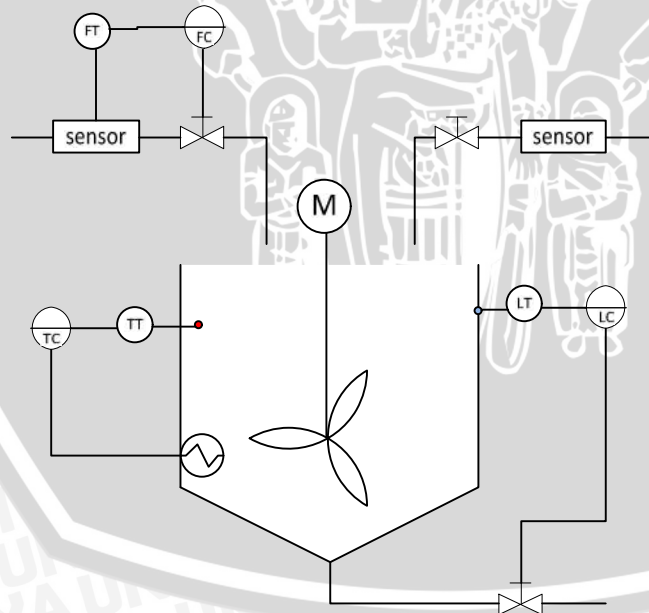
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan alat ini dilakukan secara bertahap dalam bentuk flowchart sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap prosesnya maupun secara keseluruhan. Perancangan ini terdiri dari:

- Perancangan sistem
- Perancangan perangkat keras (konfigurasi *hardware* pada DCS tipe SIMATIC PCS 7, driver valve, dan sensor level)
- Perancangan perangkat lunak (*Continuous Function Chart* (CFC), *Sequential function Chart* (SFC), dan pembuatan gambar proses menggunakan Win CC).

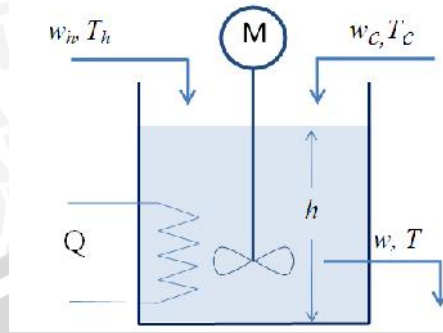
4.1 Perancangan Sistem

Gambar *Piping and Instrumentation Drawing* sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 P&ID Sistem

(Sumber : Perancangan)



Gambar 4.2 Plant Continuous Flow Mixing

(Sumber : Perancangan)

Gambar 4.2 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 temperature luar). Dalam proses ini, volume cairan bervariasi terhadap waktu, keseimbangan energi dan massa.

Model proses ini dapat diuraikan seperti berikut,

a. Keseimbangan massa

Laju akumulasi massa = Laju massa masuk – laju massa keluar

$$A\rho \frac{dh(t)}{dt} = w_h(t) + w_c(t) - w(t) \quad (4.1)$$

Dengan laju massa keluar,

$w(t) = C_v \sqrt{h(t)}$ adalah untuk aliran keluaran yang tidak linier, dengan C_v adalah

kapasitas fluida dengan volume konstan. $w(t) = \frac{1}{R} h(t)$ adalah untuk aliran

keluaran yang linier, dengan R adalah resistansi valve dan saluran.

Pada kondisi mantap (*steady-state*), $\frac{dh(t)}{dt} = 0$

$$0 = \bar{w}_h + \bar{w}_c - \bar{w} \quad (4.2)$$

Dengan mengurangi persamaan (4.1) dengan (4.2) maka,

$$\begin{aligned} A\rho \frac{dh(t)}{dt} &= w_h(t) - \bar{w}_h + w_c(t) - \bar{w}_c - \frac{1}{R} (h(t) + \bar{h}) \\ A\rho \frac{dh'(t)}{dt} &= w_h'(t) + w_c'(t) - \frac{1}{R} h'(t) \end{aligned} \quad (4.3)$$

Dengan $h'(t) = h(t) - \bar{h}$; $w_h'(t) = w_h(t) - \bar{w}_h$; $w_c'(t) = w_c(t) - \bar{w}_c$;

$$A\rho \frac{dh'(t)}{dt} + \frac{1}{R} h'(t) = w_h'(t) + w_c'(t) \quad (4.4)$$

Dengan mengambil transformasi Laplace, jika $\tau_1 = A\rho R$

$$H'(s) = \frac{R}{\tau_1 s + 1} W_h'(s) + \frac{R}{\tau_1 s + 1} W_c'(s) \quad (4.5)$$

b. Keseimbangan energi,

Laju perubahan akumulasi energi = laju energy masuk – laju energy keluar

$$V\rho C \frac{dT}{dt} = w_h \rho C (T_h - T) + w_c \rho C (T_c - T) - w \rho C T + Q \quad (4.6)$$

Melalui deret Taylor, $f(x, y) \cong f(\bar{x}, \bar{y}) + \left. \frac{df}{dx} \right|_{\bar{x}, \bar{y}} (x - \bar{x}) + \left. \frac{df}{dy} \right|_{\bar{x}, \bar{y}} (y - \bar{y}) + \Lambda$

$$w_h \rho C (T_h - T) \cong \rho C (\bar{T}_h - \bar{T}) (w_h - \bar{w}_h) + \bar{w}_h \rho C (T_h - \bar{T}_h)$$

$$w_c \rho C (T_c - T) \cong \rho C (\bar{T}_c - \bar{T}) (w_c - \bar{w}_c) + \bar{w}_c \rho C (T_c - \bar{T}_c)$$

Tanda baris di atas menunjukkan nilai konstan pada keadaan mantap (*steady state*).

Dengan demikian persamaan (4.6) dapat dituliskan kembali menjadi,

$$V\rho C \frac{dT'}{dt} = \rho C (\bar{T}_h - \bar{T}) w_h' + \bar{w}_h \rho C T_h' + \rho C (\bar{T}_c - \bar{T}) w_c' + \bar{w}_c \rho C T_c' - \bar{w} \rho C T' + Q' \quad (4.7)$$

$$V\rho C \frac{dT'}{dt} + \bar{w} \rho C T' = \rho C (\bar{T}_h - \bar{T}) w_h' + \bar{w}_h \rho C T_h' + \rho C (\bar{T}_c - \bar{T}) w_c' + \bar{w}_c \rho C T_c' + Q'$$

$$\frac{V}{\bar{w}} \frac{dT'}{dt} + T' = \frac{(\bar{T}_h - \bar{T})}{\bar{w}} w_h' + \frac{\bar{w}_h}{\bar{w}} T_h' + \frac{(\bar{T}_c - \bar{T})}{\bar{w}} w_c' + \frac{\bar{w}_c}{\bar{w}} T_c' + \frac{1}{\bar{w} \rho C} Q'$$

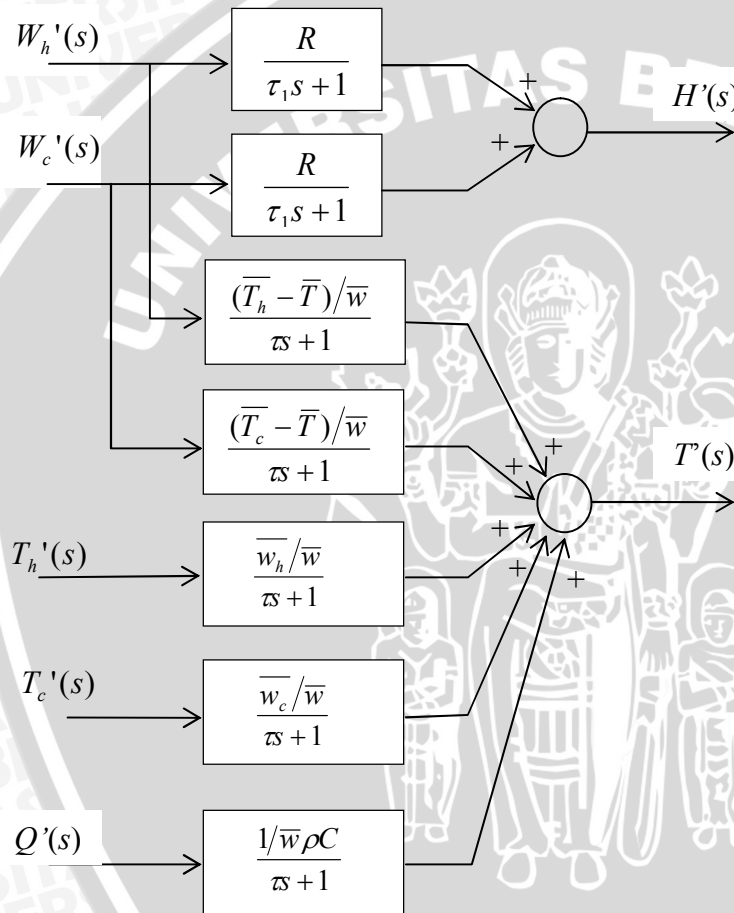
Dengan mengambil Transformasi Laplace, maka

$$\left(\frac{V}{\bar{w}} s + 1 \right) T'(s) = \frac{(\bar{T}_h - \bar{T})}{\bar{w}} W_h'(s) + \frac{\bar{w}_h}{\bar{w}} T_h'(s) + \frac{(\bar{T}_c - \bar{T})}{\bar{w}} W_c'(s) + \frac{\bar{w}_c}{\bar{w}} T_c'(s) + \frac{1}{\bar{w} \rho C} Q(s) \quad (4.8)$$

Jika $\tau = \frac{V}{\bar{w}}$, maka transformasi Laplace dari persamaan ini adalah,

$$T(s) = \frac{\bar{w}_h'/\bar{w}}{\tau s + 1} T_h'(s) + \frac{(\bar{T}_h - \bar{T})\bar{w}}{\tau s + 1} W_h'(s) + \frac{\bar{w}_c'/\bar{w}}{\tau s + 1} T_c'(s) + \frac{(\bar{T}_c - \bar{T})\bar{w}}{\tau s + 1} W_c'(s) + \frac{1/\bar{w}\rho C}{\tau s + 1} Q(s) \quad (4.9)$$

Dari persamaan (4.5) dan (4.9) dapat divisualisasikan dalam bentuk diagram blok Gambar 4.3,



Gambar 4.3 Diagram Blok dari MIMO mixing system
(Sumber : Perancangan)

Dari persamaan (4.3) dan (4.7), dapat dituliskan variabel keadaan (*state*),

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h'(t) \\ T'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(t) - \bar{h} \\ T(t) - \bar{T} \end{bmatrix}$$

dan variable masukan (*input*),

$$\begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ u_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_h'(t) \\ w_c'(t) \\ Q'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_h(t) - \bar{w}_h \\ w_c(t) - \bar{w}_c \\ Q(t) - \bar{Q} \end{bmatrix}$$

serta variable gangguan (*disturbance*),

$$\begin{bmatrix} d_1(t) \\ d_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_h'(t) \\ T_c'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_h(t) - \bar{T}_h \\ T_c(t) - \bar{T}_c \end{bmatrix}$$

Dengan variable keluaran $y(t) = x(t)$

Maka persamaan di atas dapat ditulis kembali dalam bentuk persamaan ruang keadaan (*state space*) seperti berikut,

$$\begin{bmatrix} x_1(t+1) \\ x_2(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{A\rho R} & 0 \\ 0 & -\frac{\bar{w}}{V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{A\rho} & \frac{1}{A\rho} & 0 \\ \frac{\bar{T}_h - \bar{T}}{V} & \frac{\bar{T}_c - \bar{T}}{V} & \frac{1}{V\rho C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ u_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{0}{V} & \frac{0}{V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1(t) \\ d_2(t) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Dalam bentuk vektor matriks secara umum,

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t+1) &= \mathbf{Ax}(t) + \mathbf{Bu}(t) + \mathbf{Ed}(t) \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{Cx}(t) \end{aligned} \quad (4.11)$$

Continuous Flow Mixing adalah proses pencampuran secara kontinyu yang sebelumnya masing-masing aliran cairan diukur sesuai set point yang diinginkan. Pada sistem mekanik alat *Continuous Flow Mixing* ini menggunakan empat penampung air, motor pengaduk, sensor aliran, dan *valve*.

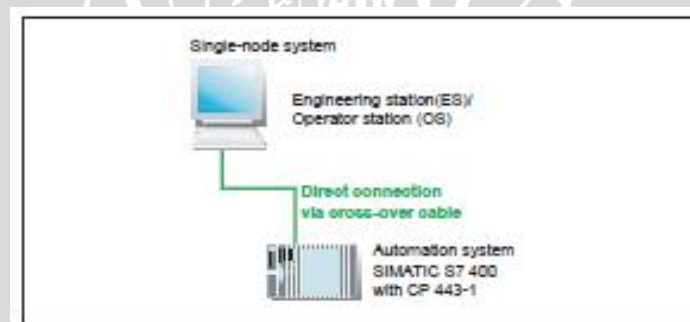
Penampung air terdiri dari dua penampung atas yaitu penampung 0109 yang berisi cairan berwarna biru dan penampung 1109 yang berisi cairan berwarna kuning. Keluaran cairan sesuai setpoint yang dikontrol oleh Model Predictive Control dikenali oleh sensor aliran. Saat mulai *dosing*, motor pengaduk juga 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 kerja pada program menggunakan WinCC sebagai HMI.

4.2 Perancangan Perangkat Keras

4.2.1 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 4.4. Konfigurasi hardware yang dirancang sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1.



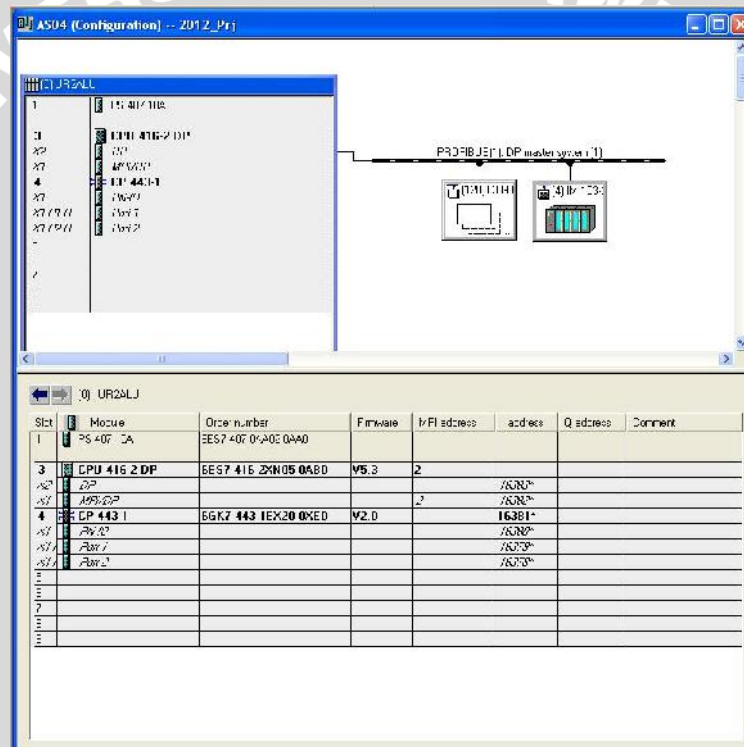
Gambar 4.4 Koneksi antara OS/ES ke AS/PLC

Tabel 4.1 Hardware yang digunakan

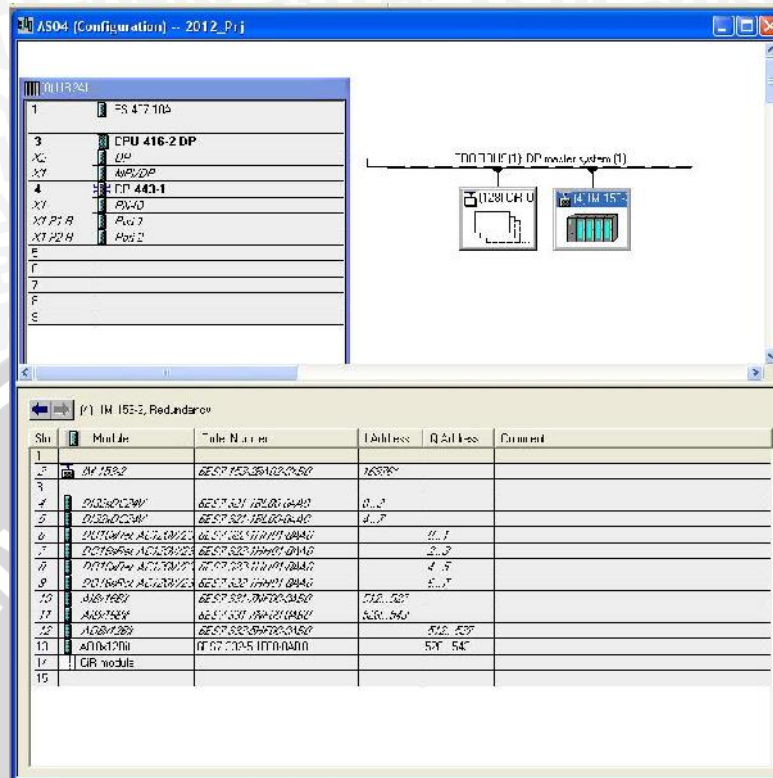
Komponen Hardware	Peralatan yang digunakan
PG atau PC dengan kartu jaringan standar	3Com Etherlink III IS
Power Supply	PS 407 10 A
CPU	CPU 416-2, firmware as of V5.3.1
CP 443-1	6GK7 443-1 EX11-0XE0, Firmware as of 2.0 with a fixed MAC address

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)

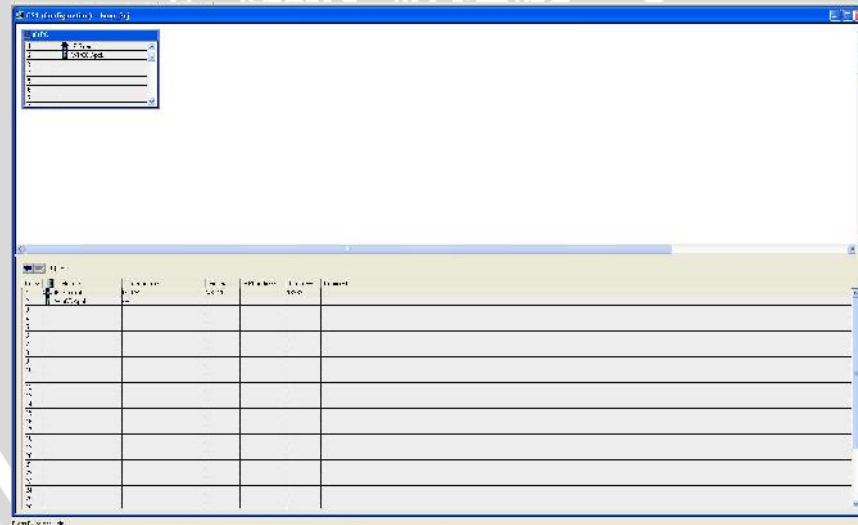
Gambar 4.5 menunjukkan tampilan saat menkonfigurasi Automation System (AS). Gambar 4.6 menunjukkan tampilan saat mengkonfigurasi IM 153-2, *Digital Input*, *Digital Output*, *Analog Input*, dan *Analog Output*. Gambar 4.7 menunjukkan tampilan saat mengkonfigurasi *Operator Station* (OS).



Gambar 4.5 Konfigurasi AS



Gambar 4.6 Konfigurasi IM 153-2, DI, DO, AI, AO



Gambar 4.7 Konfigurasi OS

4.2.2 Digital Input

Digital input yang dirancang adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Digital Input

Alamat	Keterangan
I 0.0	DI_CTRL_M1101
I 0.1	DI_CTRL_UV1909

4.2.3 Digital Output

Digital output yang dirancang adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Digital Output

Alamat	Keterangan
Q 0.0	DO_CTRL_M1101
Q 0.1	DO_CTRL_UV1909

4.2.4 Analog Input

Analog input yang dirancang adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Analog Input

Alamat	Keterangan
IW 514	AI_CTRL_TC3011
IW 516	AI_CTRL_FC0109
IW 528	AI_CTRL_FC1109

4.2.4 Analog Output

Analog output yang dirancang adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Analog Output

Alamat	Keterangan
QW 514	AO_CTRL_TC3011
QW 516	AO_CTRL_FC0109
QW 528	AO_CTRL_FC1109

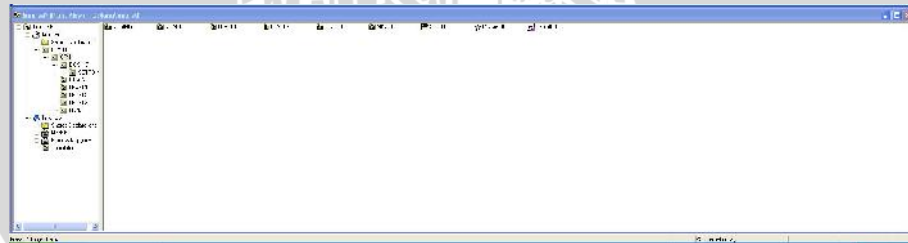
4.3 Perancangan Perangkat Lunak

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”*

4.3.1 Pembuatan Continuous Function Chart (CFC)

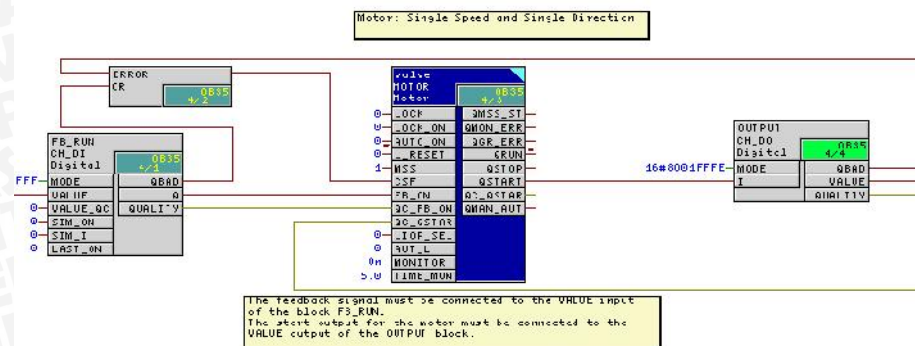
Seluruh operasi pada plant diuraikan dengan proses-proses kontinyu. Hal itu dicapai dengan membuat CFC pada CFC editor PCS 7. CFC *chart* dapat dikenali dari simbol yang ditunjukkan oleh . CFC dibuat dengan memasukkan blok yang ada dalam *library*. Di dalam *library* tersebut terdapat *single blocks* 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 4.8 menunjukkan tampilan PH pada Plant View SIMATIC MANAGER.



Gambar 4.8 Plant View

(Sumber : Perancangan)

4.3.1.1 Chart Valve UV0102

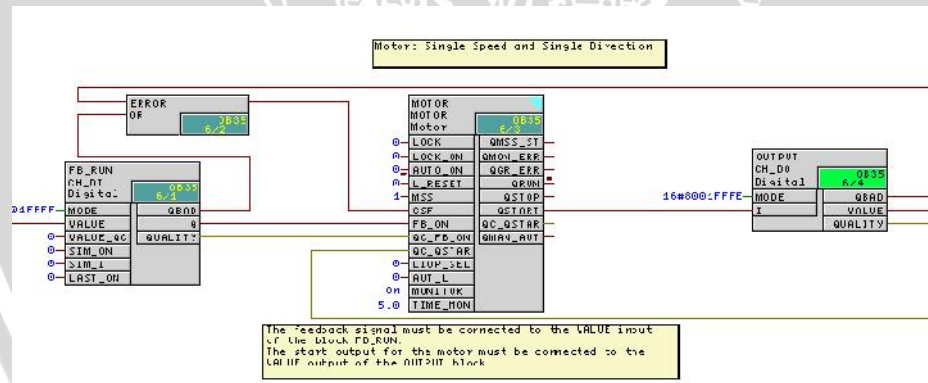


Gambar 4.9 Valve UV1909

(Sumber : Perancangan)

Gambar 4.9 adalah blok-blok yang terdiri dari blok valve (VALVE), blok digital input (CH_DI), dan blok digital output (CH_DO). Blok-blok tersebut saling terhubung. Untuk keluaran CH_DI dihubungkan dengan alamat I 0.0 pada PLC dan keluaran CH_DO dihubungkan dengan alamat Q 0.0.

4.3.1.6 Chart Motor

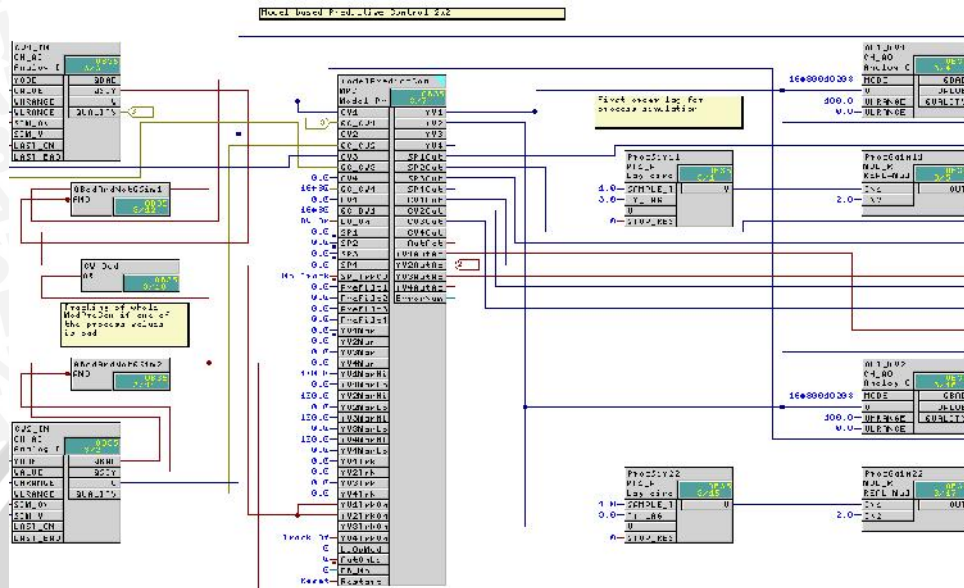


Gambar 4.10 Motor

(Sumber : Perancangan)

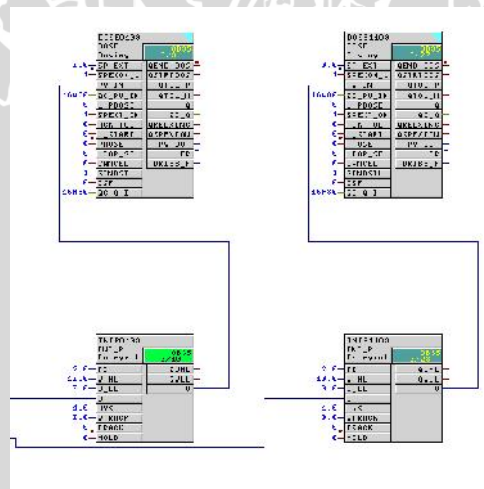
Gambar 4.10 adalah blok-blok yang terdiri dari blok motor (MOTOR), blok digital input (CH_DI), blok digital output (CH_DO), dan blok error (ERROR). Blok-blok tersebut saling terhubung. Untuk keluaran CH_DI dihubungkan dengan alamat I 0.2 dan keluaran CH_DO dihubungkan dengan Q 0.1.

4.3.1.7 Chart pengendalian Model Predictive Control



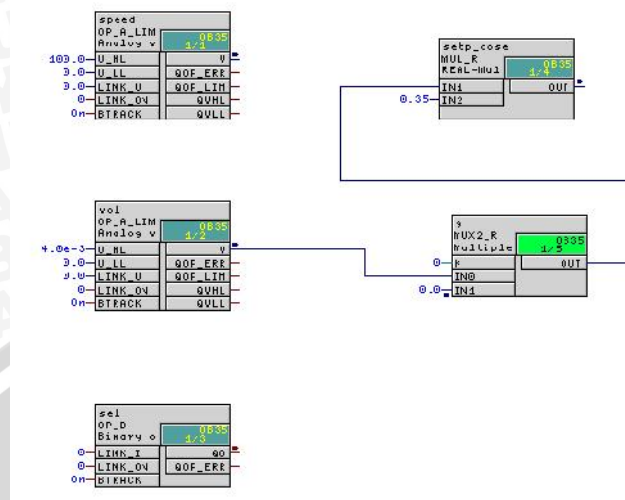
Gambar 4.11 Chart Flow Control

(Sumber : Perancangan)



Gambar 4.12 Chart Dosing

(Sumber : Perancangan)



Gambar 4.13 Chart Setpoint

(Sumber : Perancangan)

Gambar 4.11 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 Gambar 4.12. Blok *dose* dihubungkan pula dengan blok INT_P. Gambar 4.13 adalah chart *setpoint* 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.

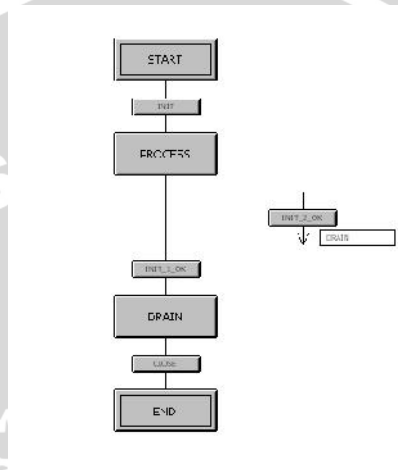
4.3.2 Pembuatan Sequential Function Chart (SFC)

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

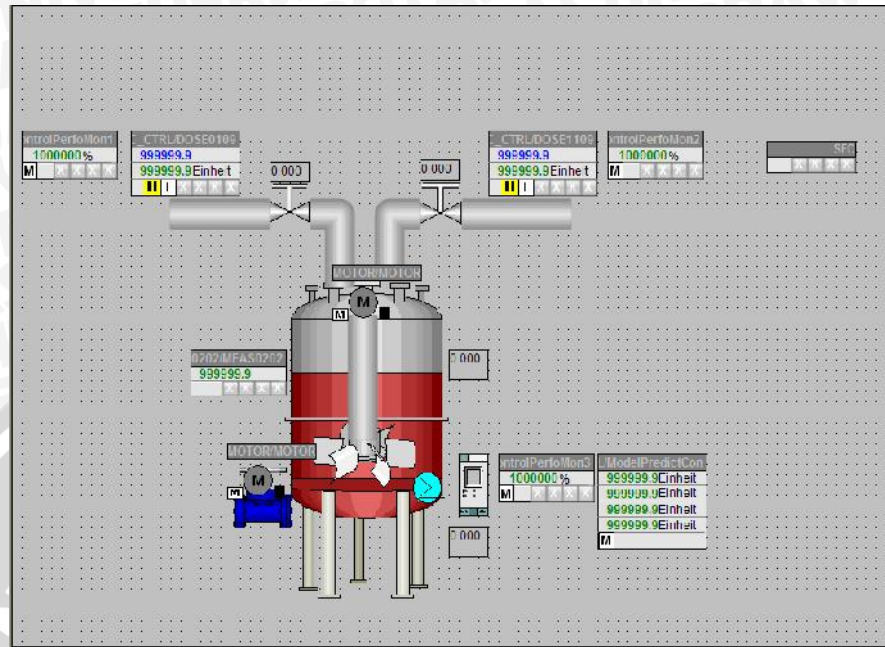


Gambar 4.14 SFC Chart

(Sumber : Perancangan)

4.3.4 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 4.15.

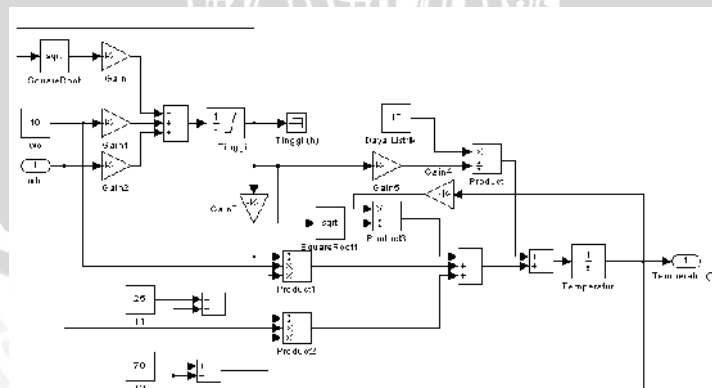


Gambar 4.15 Plant *Continuous Flow Mixing*

(Sumber : Perancangan)

4.3.5 Pembuatan Program MATLAB Sistem *Continuous Flow Mixing*

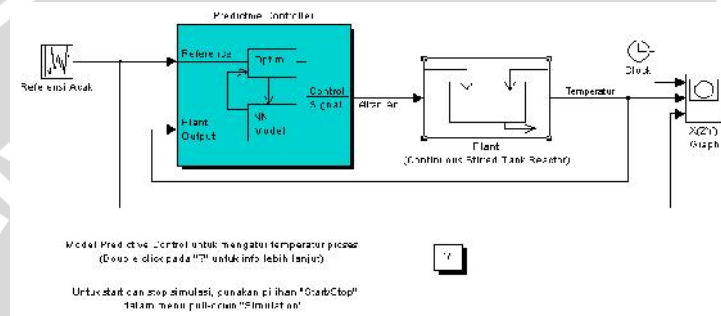
Pembuatan program MATLAB bertujuan untuk mengetahui *setpoint* yang akan diinputkan pada program SFC sebagai acuan alat untuk bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Gambar 4.16 menunjukkan model plant sistem yang dibuat pada Simulink MATLAB 2012 dengan acuan pada persamaan 4.1 dan persamaan 4.2.



Gambar 4.16 Model Plant Sistem

(Sumber : Perancangan)

Pengendalian plant yang dikendalikan oleh *Model Predictive Control* untuk kemudian dibuat model pengendalian plant sistem yang ditunjukkan oleh Gambar 4.17. Pembuatan model pengendalian plant sistem mengacu pada algoritma perhitungan MPC pada dasar teori. *Model Predictive Controller* yang ditunjukkan kotak berwarna biru pada Gambar 4.16 dihitung dengan meminimalkan cost kinerja prediksi yang dinyatakan dalam bentuk umum *cost* kuadrat.



Gambar 4.17 Model Pengendalian Plant

(Sumber : Perancangan)