

## BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

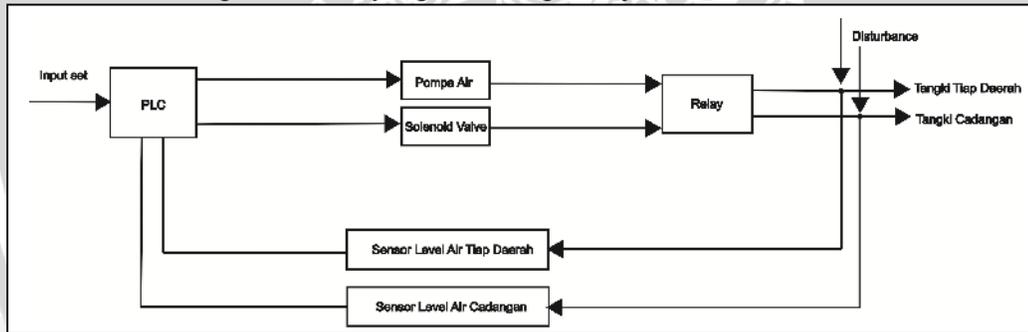
### 4.1 Perancangan Sistem

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

- Prinsip kerja alat.
- Spesifikasi alat.
- Perancangan perangkat keras terdiri atas perancangan sensor *water level*, modul rangkaian *switching*, dan rangkaian penggerak aktuator.
- Perancangan perangkat lunak terdiri atas perancangan PLC (*Programmable Logic Controller*) tipe Omron CQM1 pada *Syswin 3.4*.

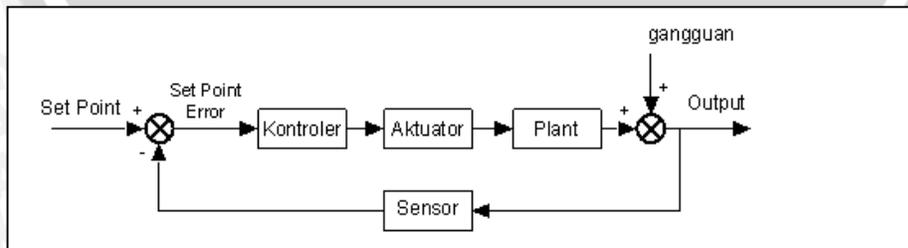
#### 4.1.1 Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Blok Diagram Sistem

Sesuai dengan fungsi pengontrolan secara menyeluruh, seperti terlihat dalam Gambar 4.2 maka komponen sistem kontrol dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :



**Gambar 4.2** Komponen Sistem Kontrol

Keterangan dari blok diagram Gambar 4.2 adalah sebagai berikut :

- *Set point* sistem berasal dari sebuah kondisi yang terjadi pada *plant*
- Pusat pengendalian/ kontroller sistem menggunakan PLC CQM1 yang memberikan keluaran berupa *digital input* dan *digital output* kepada *driver switching*, relay, *solenoid valve*, dan pompa akuarium.
- Aktuator yang berfungsi untuk mengontrol aliran energi ke sistem yang dikontrol. Pada model miniatur sistem pengendalian distribusi air menggunakan motor pompa akuarium, *solenoid valve*, dan relay yang berfungsi sebagai aktuator.
- *Plant* merupakan sistem fisis yang akan dikontrol berupa ketinggian pada tangki air dan kondisi lain pada tangki air.

#### 4.1.2 Prinsip Kerja Alat

Cara kerja alat adalah sebagai berikut :

- Menggunakan catu daya 24 VDC untuk mengaktifkan sumber *input* dan *output* pada PLC, menggunakan catu daya 6VDC untuk sensor *water level*, menggunakan catu daya 220 VAC untuk menggerakkan motor pompa akuarium dan solenoid valve
- Sensor *water level* sebagai pendeteksi ketinggian air. Sensor *water level* akan memberikan keluaran berupa level tegangan sesuai dengan posisi ketinggian tangki air saat *low indicator* dan *high indicator*.
- Pada miniatur distribusi air sistem dua titik terdiri dari tiga tangki air, yaitu dua tangki utama dan satu tangki cadangan.
- Masukan sistem berasal dari kondisi yang terjadi pada *plant*. Posisi awal pada proses ini adalah ketiga tangki masih kosong.
- Ketika kedua tangki utama masih kosong maka *solenoid valve* yang mengisi tangki utama aktif maka PLC akan memproses kondisi dimana pompa akuarium aktif, kemudian menentukan *set point* dari sistem. PLC akan membandingkan *set point* tersebut dengan berubahnya kondisi level yang diperoleh dari tangki air, kemudian diproses dan diolah untuk menghasilkan data yang diinginkan. Selanjutnya rangkaian *switching* akan meneruskan data dari sensor *water level* menuju PLC untuk

mendeteksi *indicator* ketinggian yang diharapkan ketika mencapai kondisi *low level* dan *high level* dengan kecepatan motor pompa akuarium yang tetap.

- Jika terdapat kondisi awal tangki utama dan cadangan kosong, maka proses distribusi air yang dipilih adalah mengalirkan air pada tangki utama lalu kemudian dilanjutkan pada tangki cadangan.
- Pada saat *high indicator* pada sensor *water level* tangki utama terdeteksi maka *solenoid valve* yang mengalirkan air menuju tangki utama menjadi tidak aktif dan beralih menuju proses selanjutnya mengalirkan air menuju tangki cadangan dengan mengaktifkan *solenoid valve* yang menuju tangki cadangan hingga mencapai *high indicator* maka pada kondisi tersebut *solenoid valve* yang menuju tangki cadangan dan motor pompa akuarium menjadi tidak aktif.
- Ketika kondisi tangki utama dan cadangan mencapai kondisi *high level*, maka ketika tangki utama sudah mencapai *low level* atau sensor *water level* tangki utama mendeteksi *low indicator*. Proses selanjutnya yang terjadi adalah penyaluran air dari tangki cadangan menuju tangki utama dengan membuka *solenoid valve* yang terhubung dari keduanya.
- Proses penyaluran distribusi air dari tangki utama menuju tangki cadangan akan terus terjadi hingga tangki cadangan mencapai *low level*, maka proses akan berakhir saat kondisi tangki utama juga mencapai *low level*. Pada saat kondisi ini berakhir maka proses pengaktifan akan berulang sama seperti kondisi saat awal.
- Setiap proses sebelum pengaktifan akuator (*solenoid valve* dan motor pompa) maka terdapat jeda waktu untuk pengaktifan selama dua detik.
- Proses tersebut berjalan terus sampai didapat posisi ketinggian tangki air yang diinginkan.

#### 4.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

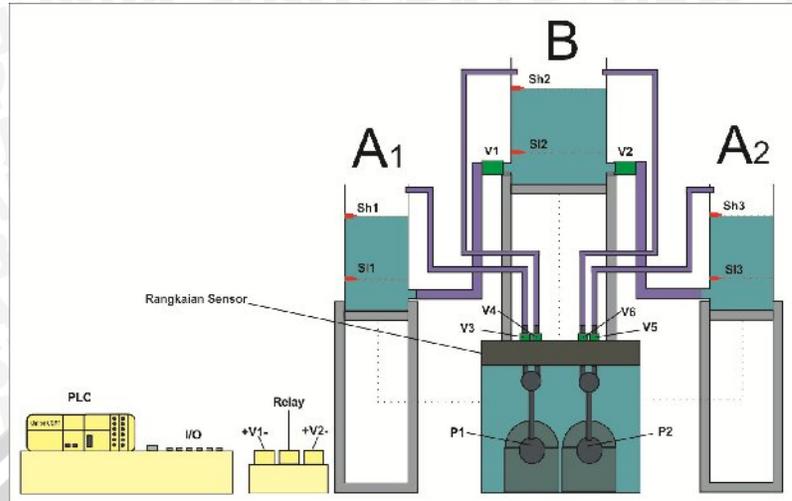
Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan mekanik, sensor *water level*

dan rangkaian *switching* serta penggunaan modul relay. Di bawah ini adalah penjelasan masing-masing rangkaian penyusun keseluruhan alat.

#### 4.2.1 Spesifikasi Alat

Spesifikasi model miniatur pengaturan distribusi di dua titik adalah sebagai berikut :

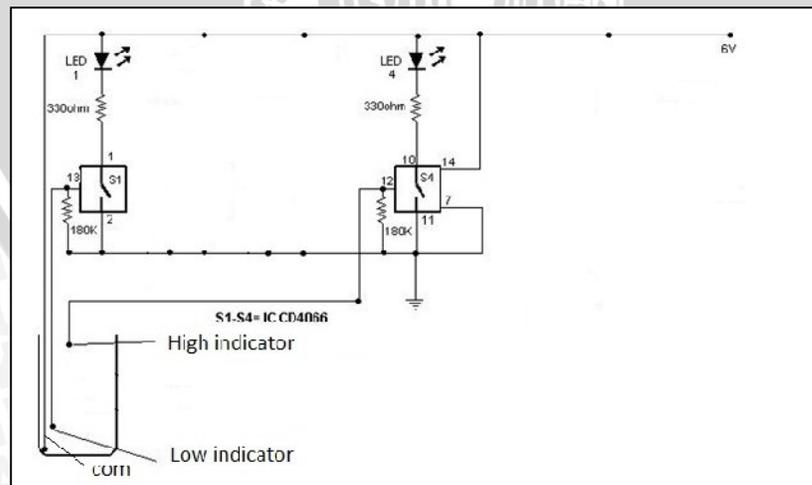
- Model miniatur pengaturan distribusi di dua titik yang dibuat terdiri tiga tangki air berbahan mika, yaitu dua tangki utama berukuran 10cm x 10cm x 20cm dan satu tangki cadangan berukuran 15cm x 10cm x 20cm.
- Proses miniatur pengaturan distribusi menggunakan motor pompa AC akuarium, menggunakan pipa PVC 1/4 dim, dan selang *pneumatic* berukuran 6 mm sebagai poros penghubung antara tangki air dan motor pompa akuarium.
- Menggunakan modul perangkat *inpu-output* yang terhubung dengan PLC dengan konektornya.
- Sensor *water level* diletakkan di dalam tangki air, pemasangan secara tegak lurus sejajar dengan ketinggian rata-rata air.
- Untuk *valve* yang digunakan adalah tipe *solenoid valve*, terdapat dua macam yaitu menggunakan catu daya 24 VDC dan 220 VAC.
- Menggunakan satu buah PLC tipe CQM1 dari Omron dengan *software* untuk monitoring dan program menggunakan *Sywin 3.4*.
- Ukuran dari model miniatur pengaturan distribusi di dua titik dapat dilihat dalam Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Skema Miniatur Distribusi Air  
Sumber: Perancangan

#### 4.2.2 Sensor Water Level

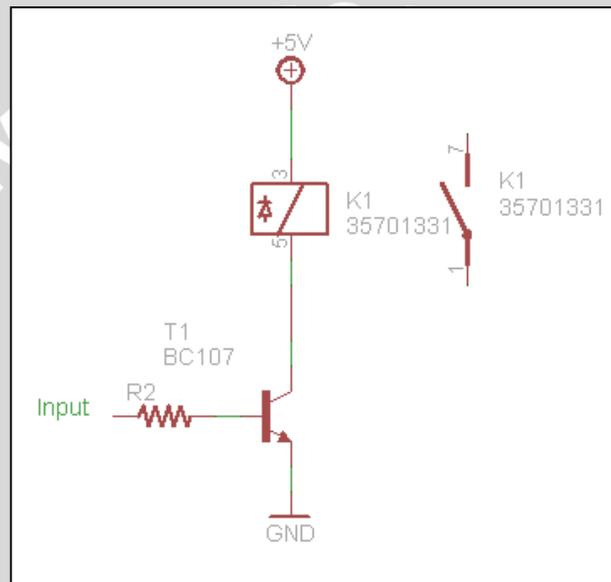
Pada perancangan rangkaian sensor *High-Low Water Level* menggunakan IC CD 4066 *bilateral* saklar CMOS IC. Untuk mengetahui indikator tersebut berfungsi, maka menggunakan LED yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 Pada rangkaian tersebut *low indicator* dan *high indicator* aktif saat terhubung dengan *com* dengan perantara air. Untuk dapat terhubung dengan PLC sebagai *input* dibutuhkan rangkain relay pengubah tegangan keluaran sensor sebesar 0 volt dan 6 volt menjadi tegangan yang dibutuhkan oleh PLC yaitu sebesar 0 volt untuk logika 0 dan 24 volt untuk logika 1.



**Gambar 4.4** Rangkaian Sensor Water Level  
Sumber: Perancangan

#### 4.2.3 Perancangan Rangkaian *Switching Sensor High-Low Water Level*

Pada rangkaian sensor *high low water level*, *output* sensor menggunakan rangkaian *switching* untuk digunakan sebagai *input* PLC sehingga *output* dari sensor tersebut terhubung dengan relay. Dari datasheet IC CD 4066 dengan arus maksimal 0,1  $\mu$ A pada logika 1, *output* sensor tidak mampu untuk mengaktifkan relay yang membutuhkan arus minimal 100 mA. Rangkaian *output* yaitu *driver trip coil* (driver relay) dari sensor *high low water level*. Rangkaian *driver trip coil* digunakan untuk mengemudikan/ memicu koil pada kontaktor.



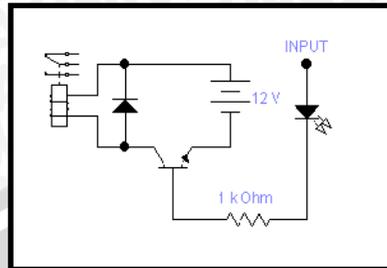
Gambar 4.5 Rangkaian *Switching*  
Sumber: Perancangan

Prinsip rangkaian *switching* merupakan rangkaian transistor sebagai saklar. Rangkaian ini terdiri dari gabungan transistor tipe NPN dan PNP seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.5 Fungsinya adalah untuk mengubah level tegangan keluaran ADC yaitu 0V – 6V pada logika 0 dan 1 menjadi level tegangan yang sesuai dengan level tegangan *input* PLC yaitu sebesar 0V – 24V pada logika 0 dan 1.

#### 4.2.4 Perancangan Rangkaian Penggerak Aktuator

Karena keluaran dari masing-masing sensor pada taraf tegangan 0 – 6 volt (logika *high*) sedangkan untuk PLC sendiri membutuhkan tegangan untuk masukan minimal 24 VDC, maka dibutuhkan relay untuk mengaktifkan atau

memberikan sinyal ke PLC untuk memberikan logika *high* maupun *low*. Rangkaian relay dapat dilihat dalam Gambar 4.6



Gambar 4.6 Rangkaian relay

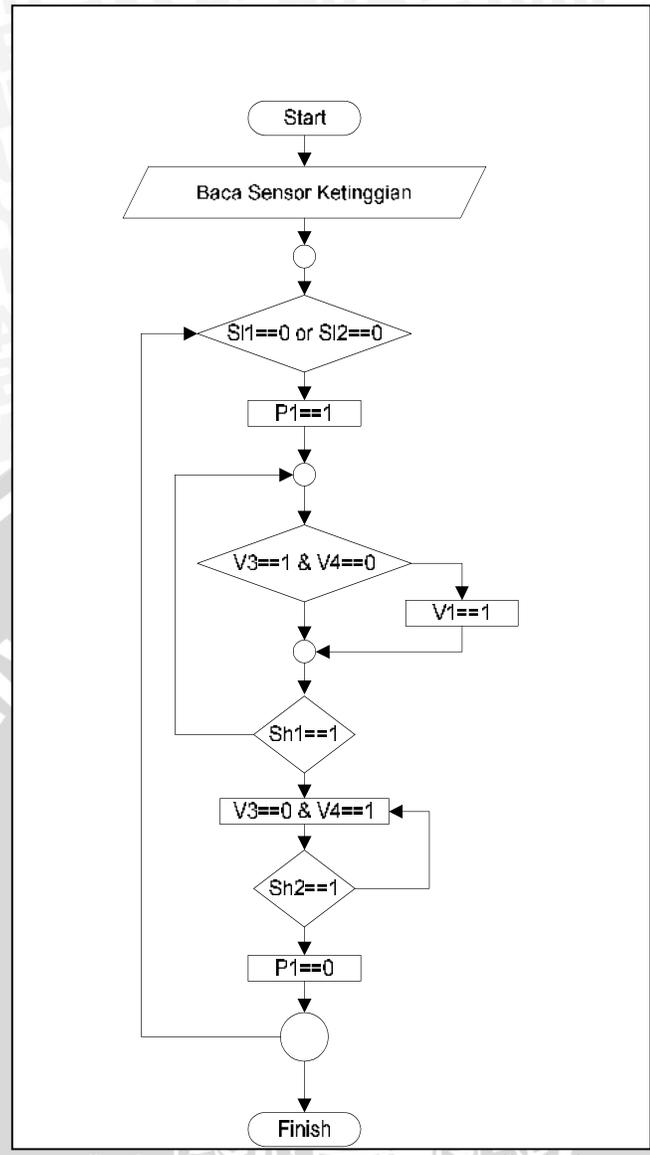
Sumber: Perancangan

Pada perancangan rangkaian penggerak aktuator, digunakan relay sebagai pengubah tegangan keluaran aktuator. *Relay* elektromekanis yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *relay* magnetik 8 pin yang memiliki *input* berupa tegangan *supply* koil 24 VDC dan tegangan beban 220 VAC.

#### 4.3 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Langkah awal untuk pembuatan perangkat lunak (*software*) pada suatu sistem maka perlu disusun terlebih dahulu diagram alir dari sistem tersebut. Perancangan perangkat lunak pada PLC yang dalam hal ini berbentuk diagram tangga (*ladder diagram*) maka perlu untuk memperhatikan diagram alir dari proses kerja masing-masing sensor dan aktuator yang digunakan. Diagram alir ini dapat memudahkan pembuatan program diagram tangga pada PLC sehingga dapat tersusun secara baik, juga dapat mempermudah dalam penulisannya. *Flowchart* untuk pengaturan distribusi air dapat dilihat dalam Gambar 4.7

Perancangan simulasi ini digunakan untuk menggambarkan perangkat miniatur pendistribusian air di dua titik berbasis PLC yang nampak seperti yang sesungguhnya. Dalam perancangan simulasi sistem tersebut menggunakan PLC jenis Omron tipe CQM1 dengan bantuan program *monitoring* Syswin 3.4. Untuk mempermudah hasil simulasi secara *software* maka menggunakan program *Simatic Manager* dari Siemens.



Gambar 4.7 Flowchart Pengaturan Distribusi Air  
 Sumber: Perancangan

Setelah merencanakan diagram alir sistem, maka sebelum direalisasikan ke dalam bentuk diagram tangga perlu ditentukan dahulu pengalamatan I/O pada PLC. Penentuan I/O pada PLC disesuaikan dengan perencanaan perangkat keras sistem. Pengalamatan I/O pada PLC dapat dilihat dalam Tabel 4.1 dan 4.2

Tabel 4.1. Tabel pengalamatan *input* PLC  
 Sumber: Perancangan

Alamat	Keterangan	Simbol
000.00	Sensor Low 1	Sl1
000.01	Sensor High 1	Sh1

000.02	Sensor Low 2	Sl2
000.03	Sensor High 2	Sh2
000.04	Sensor Low 3	Sl3
000.05	Sensor High 3	Sh3

**Tabel 4.2.** Tabel pengalaman *output*  
Sumber: Perancangan

Alamat	Keterangan	Simbol
100.00	Solenoid Valve 1	V1
100.01	Solenoid Valve 2	V2
100.02	Solenoid Valve 3	V3
100.03	Solenoid Valve 4	V4
100.04	Solenoid Valve 5	V5
100.05	Solenoid Valve 6	V6
100.06	Pompa 1	P1
100.07	Pompa 2	P2

#### 4.4 Perancangan Pergerakan Pendistribusian Air

Untuk lebih memudahkan dalam perencanaan, maka perlu dijabarkan deskripsi pergerakan secara keseluruhan dalam pendistribusian air. Program yang ada akan diberi nilai masukan sebagai set point. Kemudian program akan diwrite pada main unit PLC. Setelah itu program *dirun*. Program yang telah *dirun* akan menjalankan sistem tersebut. Pada sistem tersebut *plant A* yang terdiri dari dua buah merupakan pusat *plant* yang diatur, sedangkan *plant B* sebagai *plant* cadangan.

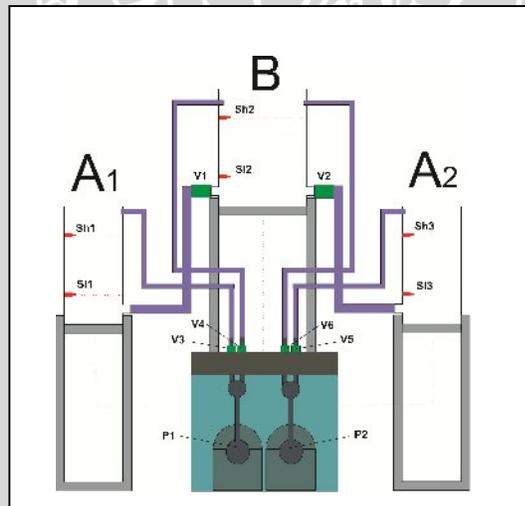
Saat motor pompa bekerja, maka sensor *high-low water level* yang ada pada setiap *plant* bekerja. Tegangan yang diterima berupa besaran tegangan 0~6VDC. Untuk itu digunakan rangkaian relay untuk merubah keluaran sensor tersebut menjadi 0~24VDC agar bisa dibaca oleh *input* PLC.

Untuk mendistribusikan air menggunakan *solenoid valve* terdapat dua tipe pemicu berbeda yaitu menggunakan pemicu 24VDC yang bisa langsung terhubung dengan *output* PLC dan pemicu 220VAC yang membutuhkan

rangkaian relay untuk merubah keluaran mejadi 0~24VDC agar bisa dibaca oleh *output* PLC. Motor pompa yang bekerja sebagai *output* juga membutuhkan rangkaian relay supaya bisa terhubung langsung dengan *output* PLC.

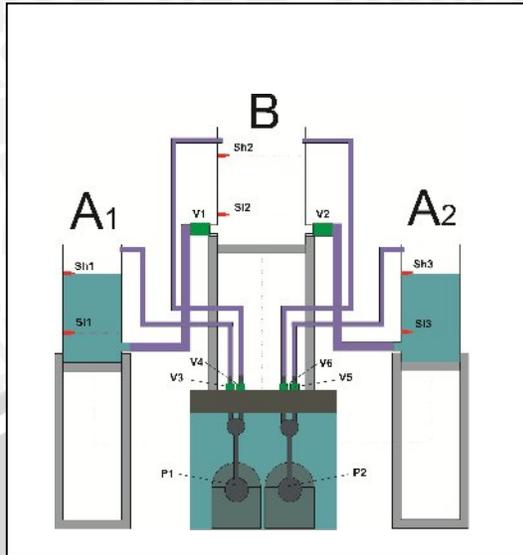
Pergerakan model sistem pengaturan distribusi ditentukan dari posisi ketinggian air menuju posisi *low level* atau *high level*. Penentuan *set point* atau besarnya ketinggian yang harus dicapai berdasarkan pengukuran manual terhadap titik-titik tujuan. Pergerakan pengaturan distribusi air akan ditunjukkan dalam Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10.

Kondisi awal pada tangki adalah kosong belum terisi air. Pergerakan proses pengisian air dimulai pada pengisian tangki A, setelah tangki A mencapai *high level* maka proses pengisian berlanjut pada tangki B hingga mencapai kondisi *high level*. Pada proses tersebut suplai air berasal dari pergerakan pompa air yang mengalirkan air dari sumber air menuju tangki tertentu. Setelah tangki A dan B mencapai kondisi *high level*, proses pensuplaian air tidak melalui pompa namun melalui pergerakan pipa yang menghubungkan tangki A dengan tangki B. setelah tangki A dan B pada kondisi kosong maka proses akan berulang seperti kondisi awal.



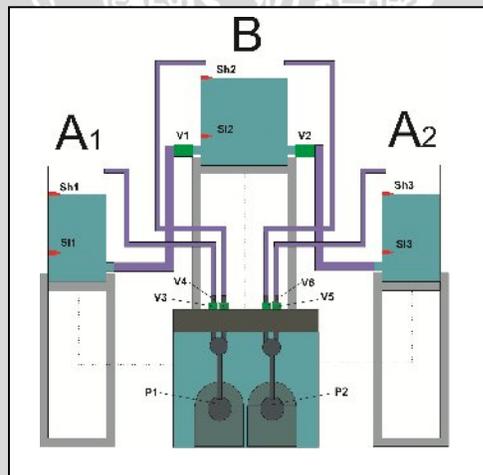
**Gambar 4.8** Pergerakan ketika kondisi tangki A dan B kosong

Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa ketika kondisi awal tangki A dan B adalah kosong akan mengarahkan *valve 3* dan *valve 5* aktif sehingga motor pompa untuk mensuplai air juga aktif.



**Gambar 4.9** Pergerakan ketika kondisi tangki A mencapai *high level* dan tangki B kosong

Pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa ketika tangki A sudah mencapai kondisi *steady state* yaitu pada kondisi *high level*. Pada kondisi ini terjadi peralihan proses pendistribusian air yang sebelumnya mengalirkan air menuju tangki A berubah menuju tangki B, sehingga *valve* yang terhubung pada tangki A (*valve 3* dan *valve 5*) menjadi tidak aktif, sedangkan *valve* yang terhubung pada tangki B (*valve 4* dan *valve 6*) aktif.



**Gambar 4.10** Pergerakan ketika kondisi tangki A dan B mencapai *high level*

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa tangki A dan B sudah mencapai kondisi *steady state* yaitu pada kondisi *high level*. Pada proses ini menuju proses selanjutnya *valve* yang berfungsi untuk mensuplai air dari sumber (*valve 3*, *valve 4*, *valve 5*, dan *valve 6*) dan pompa air menjadi tidak aktif. Untuk mensuplai distribusi air pada tangki A maka tangki B menjadi sumber distribusi air. Pada

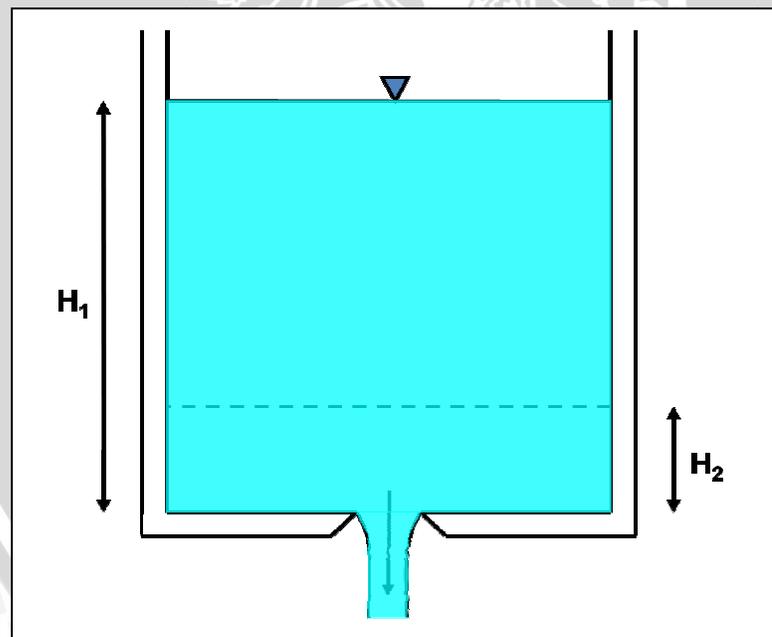
proses ini pendistribusian air melalui pipa yang terhubung diantara kedua tangki dan *valve* yang mengatur keduanya (*valve 1* dan *valve 2*). Pergerakan pendistribusian air pada tangki untuk keadaan yang lain dapat dilihat pada lembar lampiran.

#### 4.5 Perancangan Matematis Pengosongan Tangki Air

Proses pengisian tangki melalui pipa/saluran air adalah salah satu contoh dari sistem ini, dimana pengaturan-pengaturan aliran ke dalam tangki dapat dilakukan melalui keran, lubang-lubang yang dapat diatur dan sebagainya. Dalam menganalisis sistem cairan ini dapat diberikan anggapan-anggapan sebagai berikut:

- tangki dianggap mengandung cairan yang permukaannya bebas.
- pipa penghubung dipenuhi seluruhnya oleh cairan.
- percepatan cairan diabaikan.

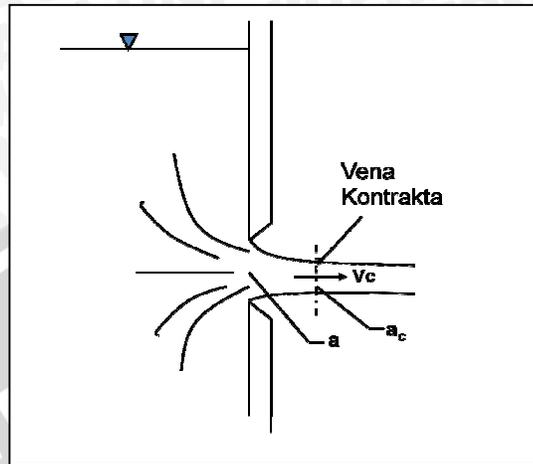
Keadaan ini ditunjukkan pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Model pengosongan tangki air

Pada aliran zat cair melalui lubang terjadi kehilangan tenaga sehingga beberapa parameter aliran akan lebih kecil dibanding pada aliran zat cair ideal.

Berkurangnya parameter aliran tersebut dapat ditunjukkan oleh beberapa koefisien, yaitu koefisien kontraksi, koefisien kecepatan, dan koefisien debit.



Gambar 4.12 Vena Kontrakta

Pancaran air yang melewati lubang akan mengalami kontraksi (penguncupan aliran). Kontraksi maksimum terjadi pada suatu penampang sedikit di sebelah hilir lubang. Penampang dengan kontraksi maksimum tersebut dikenal sebagai vena kontrakta seperti terlihat dalam Gambar 4.12. Koefisien kontraksi ( $C_c$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara luas penampang aliran pada vena kontrakta ( $a_c$ ) dan luas lubang ( $a$ ) yang sama dengan penampang aliran zat cair ideal.

Peralatan yang digunakan untuk mengukur keluaran fluida adalah *orifice* dan *noozle*. Menurut Titherington dan Rimmer, *orifice* adalah sebuah lubang keluaran biasanya berbentuk bulat pada dinding tangki atau *pad* plat normal di sumbu pipa, plat yang sama juga ada di ujung pipa atau di beberapa daerah lanjutannya. *Orifice* memiliki ciri-ciri bentuk sisi yang tajam dengan bentuk bulat, keluarannya tidak seperti pipa pada umumnya karena alirannya dipengaruhi oleh ketebalan plat, kekerasan dinding permukaan, dan jari-jari permukaannya. (Titherington dan Rimmer, 1986).

Koefisien kecepatan ( $C_u$ ) adalah perbandingan antara kecepatan nyata dengan aliran pada vena kontrakta ( $V_c$ ) dengan kecepatan aliran secara teoritis ( $v$ ). Nilai koefisien kecepatan bergantung pada bentuk sisi lubang apakah tajam atau dibulatkan, serta tingkat energi. Menurut Triatmodjo dijelaskan nilai rata-rata

dari koefisien kecepatan adalah 0,97. Koefisien kontraksi ( $C_c$ ) adalah perbandingan antara luas penampang aliran vena kontrakta dengan luas lubang yang sama dengan penampang aliran zat cair ideal, menurut Triatmodjo dijelaskan nilai rata-ratanya sekitar 0,64. Koefisien debit adalah perbandingan antara debit nyata dengan debit teoritis. Nilai debit bergantung pada nilai koefisien kecepatan dan koefisien kontraksi. Nilai rata-ratanya adalah 0,62 (Triatmodjo, 1996).

Tinggi cairan (*head*) menghasilkan suatu tekanan yang menimbulkan aliran cairan dari tangki dan keadaan ini merupakan kebalikan daripada sifat pipa hambatan-hambatan lain terhadap aliran. Secara matematis dituliskan sebagai berikut :

- Waktu yang diperlukan untuk mengubah tinggi permukaan air dari  $H_1$  menjadi  $H_2$  :

$$t = \frac{2A}{C_d a \sqrt{2g}} \left( H_1^{\frac{1}{2}} - H_2^{\frac{1}{2}} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- t = waktu pengosongan tangki air dari  $H_1$  menuju  $H_2$  (s)
- A = luas penampang tangki air ( $m^2$ )
- $C_d$  = koefisien debit air
- a = luas lubang keluaran *orifice* ( $m^2$ )
- g = gaya gravitasi bumi
- $H_1$  = ketinggian awal pada tangki air (m)
- $H_2$  = ketinggian akhir pada tangki air (m)

Waktu yang diperlukan untuk mengubah tinggi permukaan air dari  $H_1$  (15cm) menjadi  $H_2$  (7,5cm) pada tangki air ukuran tangki air 15 cm x 10 cm x 20 cm dan diameter lubang kecil keluaran *orifice* 0,8 cm terlihat dalam Tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Tabel perhitungan pengosongan tangki air (15x10x20  $cm^3$ )

p (m)	l (m)	A ( $m^2$ )	$H_1$ (m)	$H_2$ (m)	$C_d$	a ( $m^2$ )	g ( $m/s^2$ )	t (s)
0,15	0,1	0,015	0,15	0,075	0,62	0,00005024	9,81	24,665

- Waktu pengosongan tangki :

$$t = \frac{2AH_1^{\frac{1}{2}}}{C_d a \sqrt{2g}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- t = waktu pengosongan tangki air (s)
- A = luas penampang tangki air (m<sup>2</sup>)
- Cd = koefisien debit air
- a = luas lubang keluaran *orifice* (m<sup>2</sup>)
- g = gaya gravitasi bumi
- H1 = ketinggian awal pada tangki air (m)

Waktu pengosongan tangki air dengan ukuran tangki air 10 cm x 10 cm x 20 cm dan diameter lubang kecil keluaran *orifice* 0,8 cm seperti terlihat dalam Tabel 4.4.

**Tabel 4.4.** Tabel perhitungan pengosongan tangki air (10x10x20 cm<sup>3</sup>)

p (m)	l (m)	A (m <sup>2</sup> )	H1 (m)	Cd	a (m <sup>2</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )	t (s)
0,1	0,1	0,01	0,05	0,62	0,00005024	9,81	32,413
			0,075				39,698
			0,1				45,839
			0,125				51,25
			0,15				56,141