

## DESAIN LOOP PENGUJIAN / KALIBRASI TFM & FASILITAS EKSPERIMEN

Sukmanto Dibyo,  
Herry A, Djunaidi, R. Indrawanto, Royadi, Sentot A. Harahap

### ABSTRAK

DESAIN LOOP PENGUJIAN/KALIBRASI TFM & FASILITAS EKSPERIMEN: Pengukuran Laju Alir Pendingin melalui kanal bahan bakar sangat penting dalam mendukung keandalan hasil analisis termohidrolika teras. Pemanfaatan TFM yang ada di RSG-GAS dengan keandalan dan tingkat akurasi perlu diuji dengan suatu fasilitas pengujian. Selain itu dalam rangka penguasaan dan pengembangan teknologi reaktor, suatu fasilitas pengujian berupa *loop* untuk eksperimen hidrolika perlu dimiliki oleh PRSG. Berdasarkan alasan ini telah di buat desain *loop* berupa diagram alir, spesifikasi/ukurannya. Perhitungan desain ini menggunakan hukum neraca massa dan formula *Bernoulli*. Penentuan diagram alir berlandaskan pada teknik pengoperasian yang mudah dan ketelitian yang memadai. Telah diperoleh spesifikasi alat utama hasil desain sbb : Kapasitas Pompa (Q) = 51,8 m<sup>3</sup>/jam, *head* 15m, Daya Pompa Teoritis = 5 HP, Diameter Pipa = 2,5 inci, Volume Tangki = 500 liter dengan *immersed heater* 1000W (7 buah)

### ABSTRACT

DESIGN OF LOOP FOR EXAMINATION AND CALIBRATION OF TFM & EXPERIMENTAL FACILITIES : Measurement of coolant flow through the fuel channel is very important to support the thermohydraulic analysis of core. Accuracy of TFM may be examined by using the loop facility. Beside that to study and to develop the reactor system technology, a loop facility is required to conduct experiment of fluid mechanics. Based on description above, a design of loop has been obtained consists of flow diagram, specification and dimension required. The design applies both mass balance and Bernoulli theory. Design results of main equipment are as follows : Centrifugal pump capacity (Q) = 51,8 m<sup>3</sup>/jam, *head* 15m, Power of pump (Theoretical) = 5 HP, Pipe Diameter required = 2,5 inci, Tank Volume = 500 liter provided by *immersed heater* 1000W (7 units).

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Penelitian tentang keselamatan reaktor berkembang sejalan dengan tuntutan akan persyaratan keselamatan yang diinginkan oleh berbagai pihak. Untuk mendapatkan keyakinan berkenaan dengan keselamatan reaktor RSG-GAS, harus dilakukan penelitian terhadap unsur-unsur yang terkandung dalam sistem reaktor itu sendiri.

Di dalam sistem pengoperasian reaktor, pendinginan pada bahan bakar di teras reaktor merupakan bagian yang sangat penting berkaitan dengan aspek keselamatan reaktor. Oleh karena

itu pengukuran laju alir pendingin melalui kanal elemen bakar sangat mendukung keandalan hasil analisis termohidrolika teras RSG-GAS. Keandalan ini adalah bagian dari komponen tolok ukur untuk mendapatkan kesinambungan kondisi operasi aman 5000 jam/tahun dengan daya tinggi. Alat ukur laju alir yang digunakan di RSG-GAS adalah jenis *Turbin Flow Meter* (TFM). Untuk itu, pemanfaatan TFM yang telah dimiliki oleh RSG-GAS dapat diuji keandalan dan akurasinya. Disamping hal yang diuraikan di atas, dalam rangka penguasaan dan pengembangan teknologi reaktor, suatu fasilitas berupa *Loop* eksperimen yang berfungsi multi-guna perlu dimiliki sebagai sarana pendukung kegiatan penelitian atau pengujian oleh para staf

Litbang di PRSG. Jadi dengan adanya *loop* ini diharapkan bahwa selain pengujian TFM, fasilitas ini juga dapat digunakan untuk eksperimen hidrolika, pengujian alat-alat ukur suhu dan tekanan.

### Tujuan

Membuat desain *loop* pengujian TFM dan fasilitas penelitian hidrolika.

### TEORI

#### Deskripsi Loop

Fasilitas *loop* merupakan suatu sarana penelitian di mana dapat dilakukan pengujian TFM dengan berbagai penelitian yang berhubungan dengan hidrolika. Masalah penelitian yang ditinjau adalah bagian atau unsur dari fenomena di dalam sistem pengoperasian reaktor RSG-GAS. Hal tersebut memungkinkan untuk dapat diteliti dengan menggunakan fasilitas *loop* yang diatur sedemikian rupa sehingga kondisi yang ditinjau dapat didekati. Dari penelitian ini akan menghasilkan informasi yang menunjang pengembangan yang berkaitan dengan optimalisasi operasi reaktor RSG-GAS daya tinggi.

*Loop* didesain mampu mengkondisikan aliran untuk satu bahan bakar teras RSG-GAS. Pada sisi *discharge* pompa dipasang alat ukur debit aliran standar komersial yang telah dikalibrasi (KIM LIPI) dan tingkat akurasi yang tinggi. Alat ukur ini selanjutnya di pasang pada *loop* secara seri dengan TFM yang diuji. Sistem *by-pass* aliran dimanfaatkan untuk mengatur atau merubah debit alir yang diinginkan, yakni dengan cara membuka menutup katup *by-pass*<sup>11</sup>. Hasil pengujian TFM berupa faktor koreksi pengukuran sebagai fungsi laju alir<sup>21</sup>. Selain pengujian TFM, pada bagian untai uji secara

paralel dipasang suatu fasilitas yang dapat dilakukan kegiatan eksperimen hidrolika yang lain. Gambar 1 menunjukkan skema desain diagram alir tersebut.

### Ruang Lingkup

Pembuatan *Loop* ini melingkupi :

- Penentuan diagram alir skematik *loop*
- Perhitungan parameter kondisi operasi
- Penentuan spesifikasi alat dan deskripsi kegunaannya.
- Ukuran yang diperlukan dalam *loop*.
- Petunjuk pengoperasian.
- Prakiraan biaya.

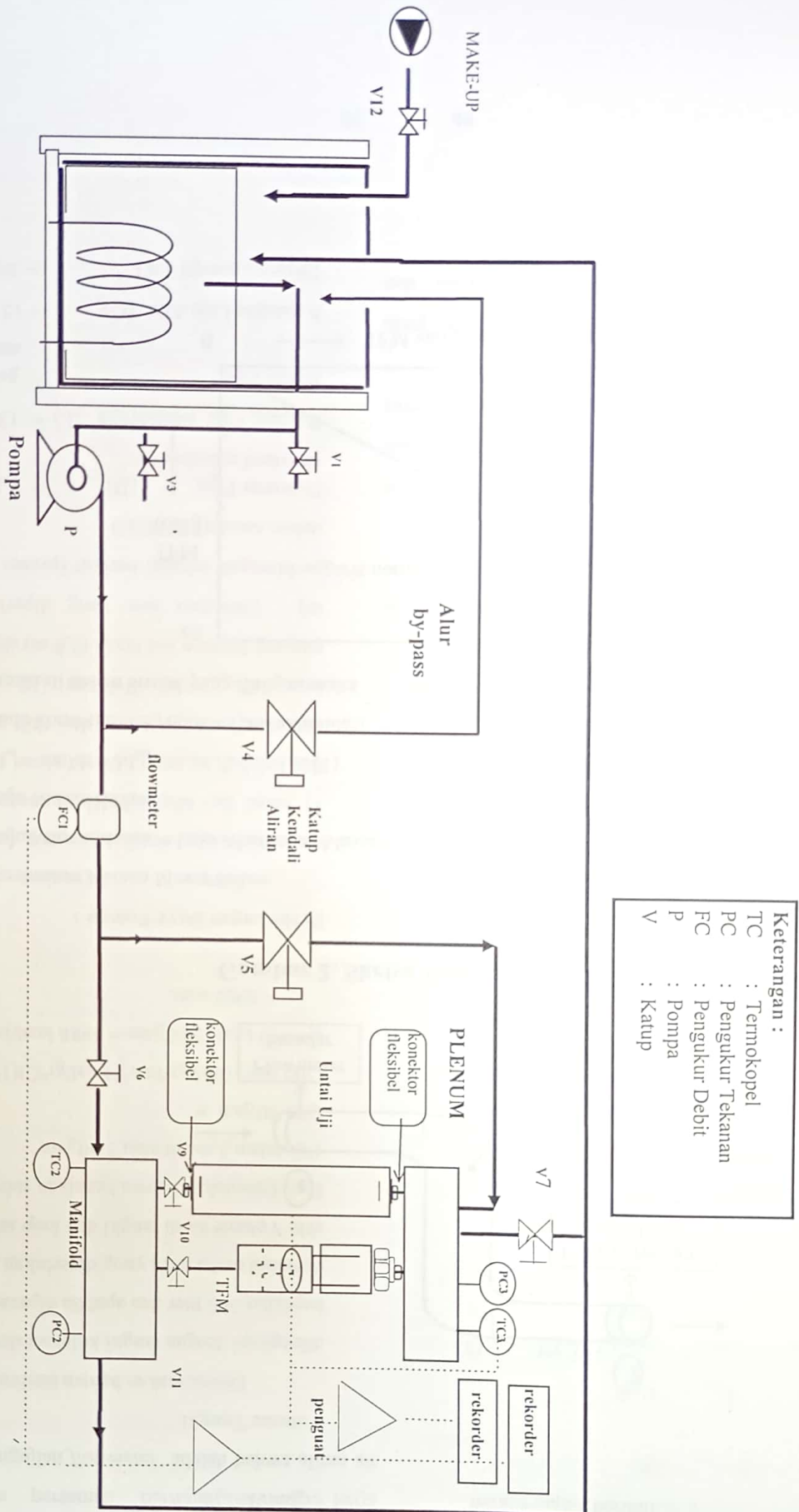
Desain *loop* ini merupakan tahap pertama dari dua tahap pembuatan *loop* secara utuh yang mencakup sbb:

Tahap I : 1). Desain Dasar

2). Desain Detail

Tahap II : 3). Instalasi/Fabrikasi dan

4). Pemasangan Alat Instrumentasi.



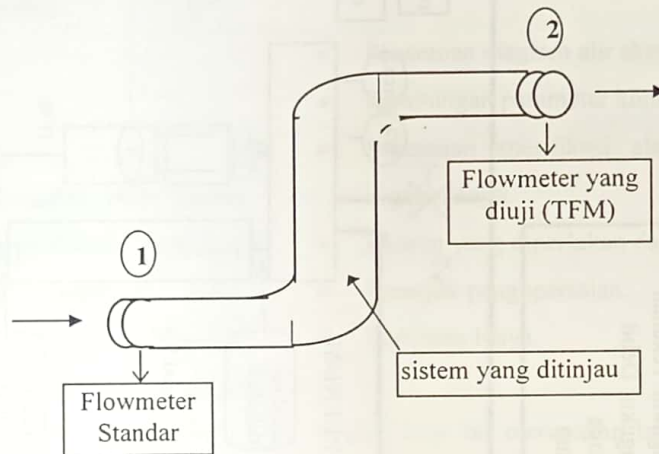
Gambar 1. Skematik Fasilitas loop Pengujian



**Metoda Perhitungan**

Berdasarkan ruang lingkup yang diuraikan di atas, maka untuk menentukan daya pemanas maupun daya pompa dapat digunakan persamaan neraca massa, energi dan persamaan Bernoulli. Prinsip kerja pengujian *flowmeter* adalah bahwa aliran air

pada kondisi tunak (*steady state*), massa yang masuk dan keluar melalui *flowmeter* standar maupun *flowmeter* yang diuji (TFM) adalah sama sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2 dan diturunkan dari persamaan neraca massa berikut<sup>13,61</sup>.



**Gambar 2. Sketsa Sistem Neraca Massa**

Persamaan Neraca Massa Sistem :

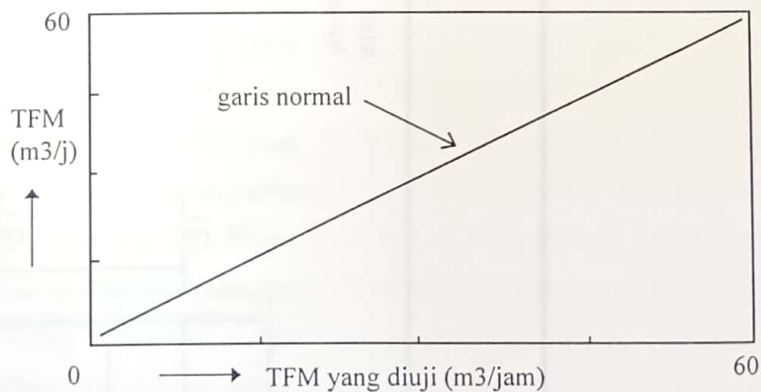
Laju Massa Masuk + Laju Akumulasi Massa =  
Laju Massa Keluar.

$$M_{in} + dm/dt = M_{out} \dots\dots\dots (1)$$

Pada kondisi tunak, tidak terjadi akumulasi massa di dalam sistem yang ditinjau maka

$$M_{in} = M_{out} \dots\dots\dots (2)$$

Dalam pengujian/kalibrasi TFM dan berdasarkan hukum kekekalan massa di atas akan diperoleh konstanta koreksi yang ditentukan dari grafik sbb :



Persamaan *Bernoulli* lazim digunakan dalam perhitungan aliran fluida melalui saluran dan diturunkan untuk menentukan daya pompa,<sup>3,5/</sup>

$$Z_{in} + \frac{P_{in}}{\rho} + \frac{V_{in}^2}{2gc} - \eta \cdot Wp =$$

$$Z_{out} + \frac{P_{out}}{\rho} + \frac{V_{out}^2}{2gc} + \sum Hf \dots\dots (3)$$

di mana,

M = massa,

Z = ketinggian,

P = tekanan,

V = kecepatan

Wp = daya pompa,

Hf = friksi

gc = konstanta gravitasi

$\rho$  = densitas

$\eta$  : efisiensi pompa.

subskrip <sub>in</sub> : masuk,

<sub>out</sub> : keluar

## PERHITUNGAN DESAIN

### Penentuan diagram alir skematik *Loop* dan

### Perhitungan Parameter kondisi operasi

Penentuan desain *loop* untuk untai uji ini didasarkan pada kondisi yang diperlukan sebagai sarana pengujian.

- Pompa mampu mensirkulasikan air melalui jaringan *loop* sekitar 15 kg/detik sesuai dengan kondisi riil pengukuran TFM di teras reaktor.<sup>7/</sup>
- Penentuan diagram alir berdasarkan pada teknik pengoperasian yang mudah dan tingkat ketelitian yang memadai.

- Seluruh peralatan didasarkan pada kemudahan untuk memperoleh komponen yang ada di pasaran.

### Penentuan spesifikasi alat-alat dan kegunaannya

#### Volume Tangki

Direncanakan bahwa fasilitas *loop* dilengkapi dengan tangki kolektor dengan kapasitas 500 liter dan apabila dipasang alat pemanas maka daya yang diperlukan dihitung sbb: Volume air di tangki dan *loop* sekitar 500 liter. Ditentukan bahwa kenaikan suhu air setiap 1°C dalam 5 menit atau 5/60 jam :

$$Q/(5/60)\text{jam} =$$

$$(500 \text{ liter}) (998 \text{ gr/liter})(1 \text{ cal/gr}^\circ\text{C})(1^\circ\text{C})$$

$$Q = 499 \text{ kcal}/(5/60)\text{jam} = 5988 \text{ kcal/jam}$$

$$= 6960 \text{ watt.}$$

#### Perhitungan Daya Pompa :

Pompa digunakan untuk mensirkulasikan air di sepanjang *loop* (gambar 1) yakni dari tangki kolektor menuju untai uji dan kembali ke tangki. *Head* aliran dihitung dari data-data ketinggian *loop* dari titik azimuth (kira-kira 3m), jumlah Belokan (10 *elbow* 90°), panjang lintasan sisi hisap (3,0 m) *discharge* (6,5 m). Data-data lain yang diperlukan untuk perhitungan sebagai berikut (proses perhitungan dalam satuan BRITISH) :

$$\text{Diameter Pipa (D)} = 2,5 \text{ inci, standard schedule 40}$$

$$\text{Panjang Pipa sebenarnya (L)} = 13 \text{ m}$$

$$\text{Bahan Pipa} = \text{galvanized steel}$$

$$\text{Kapasitas Laju Alir (Q)} = 15 \text{ liter/detik}$$

$$\text{Efisiensi pompa } (\eta) = 60 \% \text{ }^{3,5/}$$

$$\begin{aligned} \text{Penampang Aliran} &= \pi D^2 / 4 \\ \text{(di dalam Pipa)} &= 0,033 \text{ ft}^2 \\ \text{Kecepatan aliran (V)} &= 10,98 \text{ ft/detik} \\ \text{Bilangan Reynolds aliran, Re} &= 4,18 \times 10^5 \\ \text{friksi (Diagram Moody), f} &= 0,014^{1/4,6/} \end{aligned}$$

Panjang total pipa (Lt) = Panj. pipa lurus +  
Panjang ekivalen 10 elbow 90°,

$$\text{Panjang ekivalen} = 50 \text{ ft}^{[3]}$$

$$\text{Panjang pipa} = 42,6 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang Total (Lt)} = 92,6 \text{ ft}$$

Penentuan daya pompa berdasarkan persamaan (3) dan dari gambar 1 dengan batasan sebagai berikut:

Pada garis azimut ( $Z_{in}$ ) = 0,

Kecepatan permukaan air,  $V_{in} = 0$ ,  $V_{out} = 0$

Tekanan pada permukaan air = tekanan udara terbuka,

$P_{in} = 0$ ,  $P_{out} = 0$ . diperoleh,

$$- \eta \cdot W_p = Z_b + \sum H_f$$

$$\text{di mana, } \sum H_f = 4 f \frac{L V^2}{D 2 \cdot gc} = 37,6 \text{ ft}$$

$$- 0,60 \cdot W_p = 9,8 \text{ ft} + 37,6 \text{ ft} = 47,4 \text{ ft}$$

$$W_p = 79 \text{ ft}$$

$$\text{Daya Pompa teoritis} = \frac{33 \times 79}{550} = 5 \text{ HP}$$

#### Hasil Desain Peralatan Utama :

- Kapasitas Pompa (Q) = 51,8 m<sup>3</sup>/jam,  
head 15 m
- Daya Pompa Teoritis = 5 HP,  $\eta = 60\%$
- Diameter Pipa = 2,5 inci
- Volume Tangki = 500 liter

Jumlah Katup = 10 buah, *hand control-gate valve*. Jumlah elbow 90° = 12 buah.

Plenum Fasilitas pengujian berukuran 0,6m ID dan 0,4m panjang, adapun target untai uji (*test section*) berukuran sama dengan 1 bundel bahan bakar dengan konektor yang fleksibel. Detail rangkaian *Loop* ditunjukkan pada gambar 3.

#### Lokasi

Ukuran tempat yang diperlukan di dalam ruangan sekitar 36 m<sup>2</sup>.

#### KESIMPULAN

Desain ini merupakan tahap pertama sebagai desain dasar dari rangkaian pembuatan *loop* yang mencakup tahap I (Desain Dasar dan Desain Detail), tahap II (Instalasi/ fabrikasi dan Pemasangan alat instrumentasi).

Penentuan desain *loop* untai uji ini didasarkan pada kondisi yang diperlukan untuk sarana pengujian dan percobaan dengan spesifikasi Alat Utama hasil Desain sbb:

- Kapasitas Pompa (Q) = 51,8 m<sup>3</sup>/jam, head 15 m
  - Daya Pompa Teoritis = 5 HP,  $\eta = 60\%$
  - Diameter Pipa = 2,5 inci  
*schedule 40 steel pipe*
  - Volume Tangki = 500 liter.
- Jumlah Katup = 10 buah, *hand control-gate valve*. Jumlah elbow 90° = 12 buah.



Deskripsi Pengoperasian

Pengoperasian pengujian TFM dengan aliran ke bawah (*down flow*)

Posisi katup buka : v5, v9.

Posisi katup tutup : v1, v3, v6, v7, v10.

Posisi on : pompa.

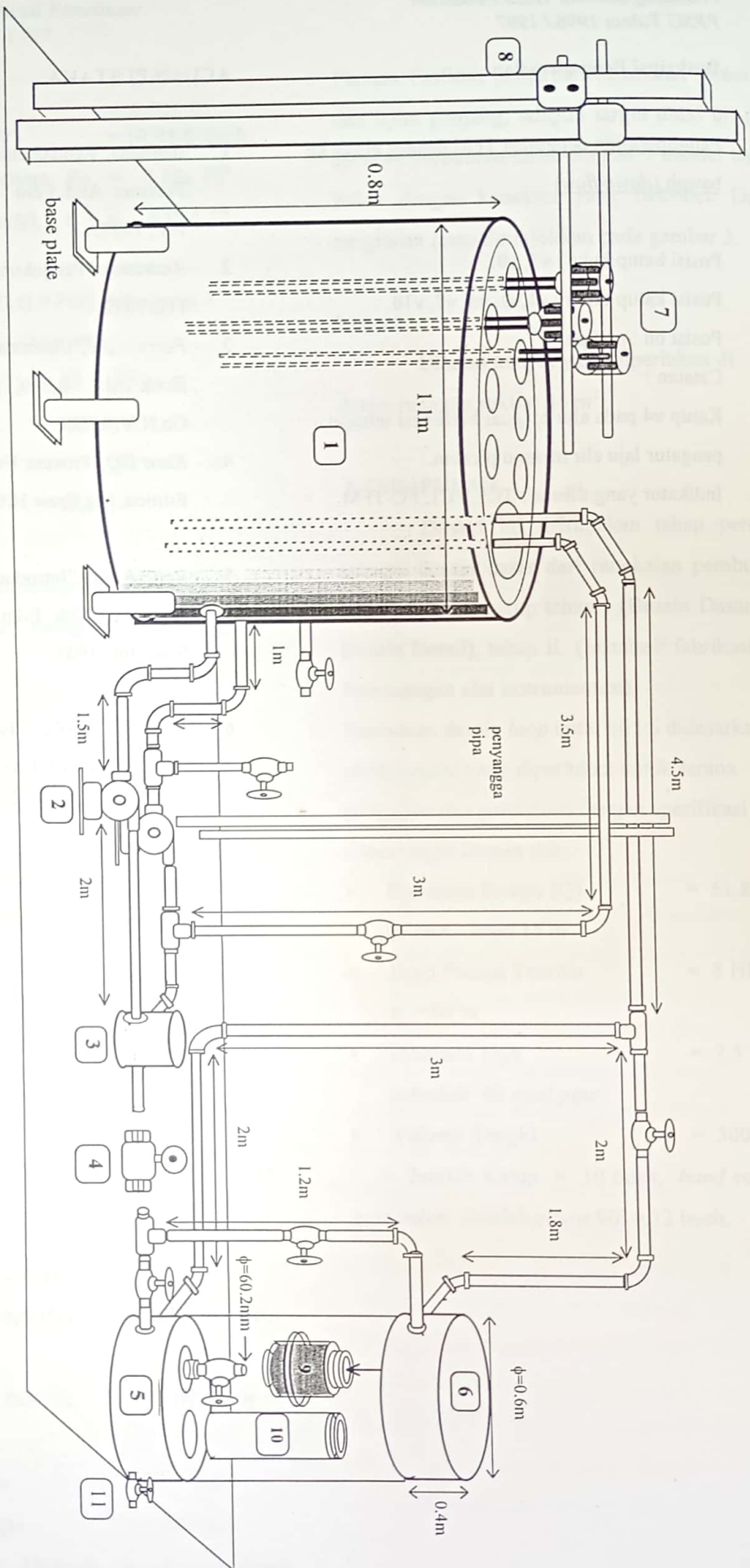
Catatan :

Katup v4 pada alur *by-pass* berfungsi sebagai pengatur laju alir menuju plenum.

Indikator yang dibaca : TC1, FC1, FC-TFM

ACUAN PUSTAKA

1. *Benedict*, "Fundamentals of Temperature Pressure And Flow Measurement", Wiley, NY, 1997.
2. *Andrianto*, "Pengukuran Data", TK-608, ITB/1992.
3. *Perry JH*, "Chemical Engineer Hand-Book", ed.3, p.390, Mc.Graw Hill Book Co, N.Y, 1950
4. *Kern DQ*, "Process Heat Transfer", Student Edition, Mc.Graw Hill Book Co, N.Y, 1959.
5. *Robert-Alan*, "Introduction To Fluid Mechanics", 3th Ed, p.390, John Wiley & Sons, Inc, 1985.
6. *Birch S, Lightfoot*, "Transport Phenomena", Departement of Chemical Eng. Univ. of Wisconsin, John Wiley & Sons, Inc.
7. *Batan*, "MPR-30 Safety Analysis Report", Chapter 4, Vol.1, Ref.7, September 1989.



Gambar 3. Detail Diagram Loop

keterangan:

- |                     |                         |                          |                            |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1. Tangki Pengumpul | 2. Pompa Sentrifugal    | 3. Tangki Pencampur      | 4. Flow - meter Standar    |
| 5. Plenum Bawah     | 6. Plenum Atas          | 7. Pemasas 7 unit @1000w | 8. Penyangga Pemasas       |
| 9. TFM              | 10. Fasilitas Yang Lain | 11. Katup Drain          | N Diameter Pipa = 2,5 inci |