

KONSEP PEMBUATAN KALIBRATOR PERALATAN LAJU ALIR DAN PRESSURE DROP

Sudarmono

ABSTRAK

KONSEP PEMBUATAN KALIBRATOR PERALATAN LAJU ALIR DAN PRESSURE DROP. Untuk mengkalibrasi elemen *dummy* yang telah digunakan selama 12 tahun di teras RSG-GAS, dirasa perlu untuk mengkalibrasi elemen *dummy* tersebut. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan suatu konsep rancangan peralatan kalibrator laju alir dan *pressure drop*. Kalibrator dirancang agar dapat mensimulasikan kondisi operasi dari segi termohidrolika teras dan kondisi batas keselamatan seperti tercantum pada laporan analisis keselamatan RSG-GAS. Rancangan sekaligus akan dimanfaatkan untuk mengetahui unjuk kerja hidrolika elemen bakar dengan berbagai variabel kecepatan pendingin. Kalibrator merupakan untai tertutup dengan menggunakan media zalir air bebas mineral yang berasal dari produksi samping RSG-GAS. Dalam konsep rancangan kalibrator ini terdiri dari sebuah tangki uji berbentuk silinder vertikal yang berisi sebuah kisi untuk menempatkan elemen dummy, sebuah tangki pengukur tekanan, dan sebuah pompa yang dilengkapi dengan rangkaian pemipaan. Rangkaian rancangan alat telah memperhitungkan jenis dan spesifikasi peralatan serta alur pemipaan dan penempatan alat-alat ukur yang diperlukan. Sebagai instrumentasi utama kalibrator dipilih pitot tube. Untuk merealisasikan rancangan ini pada tahap berikutnya perlu dilakukan rancangan dasar (*basic design*) dan studi kinerjanya,

ABSTRACT

FLOW RATE AND PRESSURE DROP CALIBRATOR EQUIPMENT DESIGN.

Dummy element has been used in RSG-GAS during 12 years, therefore it is needed to calibrate. To fulfill this requirement the calibrator equipment design was conceptualized. The RSG-GAS core thermal hydraulic operating condition and safety margin condition such as explained in safety analysis report, was used as a bordering condition. Beside of as a calibrator, this design can be used to study the hydraulic performance of fuel element in the core. The calibrator was designed as closed loop and using demineralized water from RSG-GAS side production as fluid media. The calibrator design concept is consisting of a vertical cylinder tank with single grid test section, a head tank, and a pump that completed with piping. Equipment specification, pipe routing and measurement devices that used on Loop design have been included. The Pitot tube was chooses as main calibrator instrumentation. To realize this design in the next step it is needed a basic design and performance study.

PENDAHULUAN

Elemen *dummy* yang dilengkapi dengan *turbine flow meter* adalah suatu alat ukur untuk mengetahui laju alir di dalam elemen bakar yang sesungguhnya. Putaran turbin di dalam *endfitting* akan menghasilkan korelasi dengan laju alir dan *pressure drop* (hilang tekan) di sepanjang elemen bakar. Elemen *dummy*

ini telah digunakan selama \pm 12 tahun, sehingga perlu dilakukan kalibrasi agar akurasinya dapat dipertahankan.

Untuk mengkalibrasi laju alir yang melalui kanal-kanal pendingin elemen dummy, sebagai fungsi RPM diperlukan kalibrator dengan media serupa dan sesuai dengan kondisi apabila elemen dummy tersebut ditempatkan

untuk mengukur laju alir di teras RSG-GAS. Untuk memperoleh data kalibrasi yang lengkap diperlukan berbagai kecepatan laju alir yang melalui elemen dummy, sehingga diharapkan akan diperoleh berbagai putaran RPM yang sebanding dengan laju alir yang dihasilkan. Dalam makalah ini diajukan konsep rancangan kalibrator yang telah diteliti dalam penelitian kami. Dari konsep rancangan ini diharapkan dapat dibuat suatu alat kalibrator, sehingga tidak perlu melakukan kalibrasi elemen dummy di institusi lain dan dapat dilakukan studi-studi hidrolika lain yang berhubungan dengan kinerja (*performance*) laju alir di dalam kanal elemen bakar.

Dalam konsep rancangan ini, kalibrator terdiri dari tangki yang berisi kisi tunggal dengan dimensi kisi sama persis dengan sebuah kisi elemen bakar RSG-GAS, untuk menempatkan elemen *dummy*. Aliran yang memasok tangki dan mengalir melalui kanal-kanal elemen bakar berasal dari pompa yang dilengkapi dengan *gate*, *valve* (katup), melalui suatu rangkaian pemipaan. Laju alir zalir yang melalui elemen bakar direncanakan dapat diubah-ubah, melalui pengaturan katup aliran yang berasal dari pompa sirkulasi air.

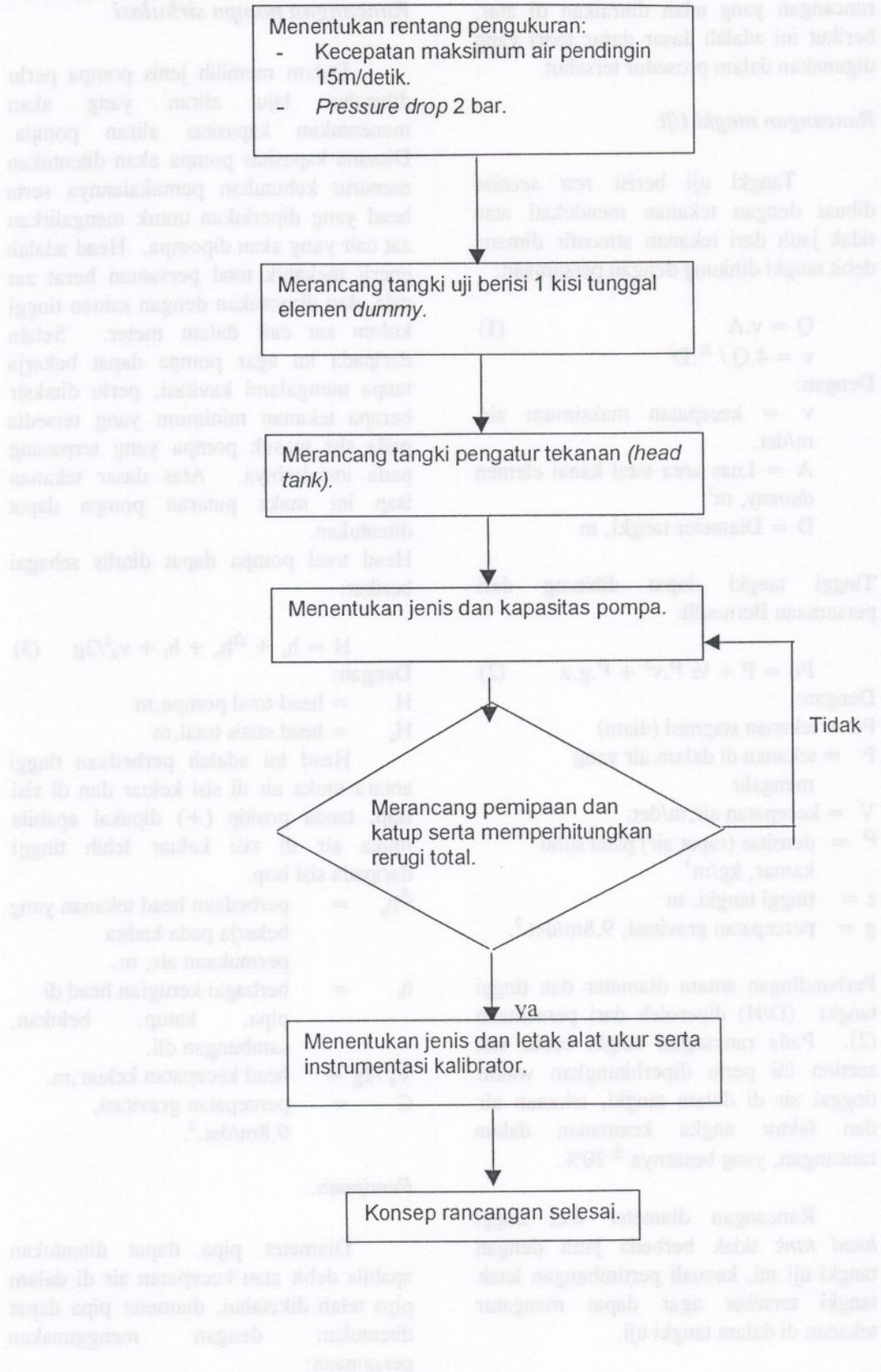
Sebagai instrumentasi utama kalibrator digunakan pitot tube untuk mengkalibrasi laju alir dan tekanan di sisi keluaran elemen bakar *dummy*. Perlengkapan tertentu yang diperlukan di dalam rancangan kalibrator ini, dipilih

peralatan dengan spesifikasi sesuai dengan peralatan yang telah ada/dijual di pasaran. Ukuran/dimensi peralatan tersebut dipilih mendekati hasil rancangan. Hal ini bertujuan agar peralatan/perlengkapan yang dibutuhkan mudah dicari dan murah harganya.

TEORI

Rentang pengukuran laju alir dan turun tekanan pada rancangan kalibrator elemen *dummy*, merupakan parameter kondisi batas yang penting. Parameter ini harus telah diperhitungkan di dalam rancangan agar dapat mencakup rentang pengukuran yang cukup luas. Langkah pertama rancangan adalah diketahuinya kecepatan maksimum pendingin di dalam elemen bakar. Dari analisis keselamatan termohidrolika teras RSG-GAS^[1], diketahui bahwa kecepatan maksimum air pendingin yang menyebabkan terjadinya vibrasi (getaran) pelat-pelat elemen bakar adalah sebesar 15 m/det. Pressure drop total di dalam teras RSG-GAS adalah sebesar 2 bar, agar supaya kondisi operasi ini dapat disimulasikan di dalam rancangan kalibrator, diperlukan sebuah tangki pengatur tekanan. Di dalam rancangan, kecepatan air pendingin dan tekanan pendingin sebesar ini akan dijadikan sebagai titik awal rancangan sekaligus sebagai kondisi batas maksimum laju alir. Langkah dalam membuat konsep rancangan digambarkan pada diagram alir di bawah ini.

Langkah perancangan:



Sesuai dengan langkah membuat konsep rancangan yang telah diuraikan di atas, berikut ini adalah dasar dasar teori yang digunakan dalam prosedur tersebut.

Rancangan tangki Uji.

Tangki uji berisi *test section* dibuat dengan tekanan mendekati atau tidak jauh dari tekanan atmosfer dimana debit tangki dihitung dengan persamaan:

$$Q = v.A \quad (1)$$

$$v = 4.Q / \pi.D^2$$

Dengan:

- v = kecepatan maksimum air, m/det.
 A = Luas area total kanal elemen *dummy*, m^2
 D = Diameter tangki, m

Tinggi tangki dapat dihitung dari persamaan Bernoulli:

$$P_0 = P + \frac{1}{2} \rho.v^2 + \rho.g.z \quad (2)$$

Dengan:

- P_0 = tekanan stagnasi (diam)
 P = tekanan di dalam air yang mengalir
 V = kecepatan air, m/det.
 ρ = densitas (rapat air) pada suhu kamar, kg/m^3
 z = tinggi tangki, m
 g = percepatan gravitasi, $9,8m/det^2$.

Perbandingan antara diameter dan tinggi tangki (D/H) diperoleh dari persamaan (2). Pada rancangan tangki berisi *test section* ini perlu diperhitungkan waktu tinggal air di dalam tangki, tekanan air dan faktor angka keamanan dalam rancangan, yang besarnya $\pm 20\%$.

Rancangan diameter dan tinggi *head tank* tidak berbeda jauh dengan tangki uji ini, kecuali pertimbangan letak tangki tersebut agar dapat mengatur tekanan di dalam tangki uji.

Rancangan pompa sirkulasi

Dalam memilih jenis pompa perlu diketahui laju aliran yang akan menentukan kapasitas aliran pompa. Dimana kapasitas pompa akan ditentukan menurut kebutuhan pemakaiannya serta head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair yang akan dipompa. Head adalah energi mekanik total persatuan berat zat cair, dan dinyatakan dengan satuan tinggi kolom zat cair dalam meter. Selain daripada itu agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi, perlu ditaksir berapa tekanan minimum yang tersedia pada sisi masuk pompa yang terpasang pada instalasinya. Atas dasar tekanan isap ini maka putaran pompa dapat ditentukan.

Head total pompa dapat ditulis sebagai berikut:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + v_d^2/2g \quad (3)$$

Dengan:

- H = head total pompa, m
 H_a = head statis total, m
 Head ini adalah perbedaan tinggi antara muka air di sisi keluar dan di sisi isap, tanda positif (+) dipakai apabila muka air di sisi keluar lebih tinggi daripada sisi isap.
 Δh_p = perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air, m.
 h_l = berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan dll.
 $v_d^2/2g$ = head kecepatan keluar, m.
 G = percepatan gravitasi, $9,8m/det^2$.

Pemipaan.

Diameter pipa dapat ditentukan apabila debit atau kecepatan air di dalam pipa telah diketahui, diameter pipa dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$D = (4Q/\pi \cdot v)^{1/2} \quad (4)$$

Dengan:

$$Q = \text{debit air, m}^3/\text{jam}$$

$$V = \text{kecepatan air, m/det.}$$

Jika kecepatan air tersebut tidak diketahui, maka diameter pipa dapat ditentukan dengan menggunakan diagram Moody yang dimodifikasi^[2].

Perhitungan rerugi tekan pada pipa.

Rerugi yang terjadi pada pipa antara lain bergantung pada pembesaran dan pengecilan pipa, kekasaran pipa, serta letak pipa (mendatar atau vertikal). Perhitungan rerugi pipa dilakukan dengan bantuan diagram Moody dan persamaan untuk menghitung rerugi pada pipa mendatar atau vertikal.

Rerugi pada pipa mendatar dinyatakan dengan:

$$H_f = (f \cdot l/d \cdot v^2) / 2g \quad (5)$$

Dengan:

$$H_f = \text{rerugi hulu, m}$$

$$F = \text{faktor gesekan}$$

$$L = \text{panjang pipa, m}$$

$$D = \text{diameter pipa = m}$$

$$V = \text{kecepatan air dalam pipa, m/det.}$$

$$G = \text{percepatan gravitasi, 9,8m/det.}^2.$$

Rerugi pada pipa vertikal dinyatakan dengan:

$$h_f = f \cdot l/d \cdot v^2/2g = z_1 - z_2 - v^2/2g.$$

$$Z_1 - z_2 = h \text{ adalah tinggi air, jadi}$$

$$H = v^2/2g \cdot (1 + f \cdot l/d) \quad (6)$$

Penurunan tekanan untuk pipa mendatar ($z_1 = z_2$) adalah

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h_f \quad (7)$$

dengan:

$$\rho = \text{densitas air, kg/m}^3$$

$$g = \text{percepatan gravitasi, } 9,8 \text{ m/det.}^2.$$

$$h_f = \text{rerugi hulu, m.}$$

Alat Ukur

Pemilihan alat ukur dibedakan antara alat ukur dan kalibrator. Alat ukur yang diperlukan antara lain adalah *flow meter* dan pengukur tekanan pada sisi masukan dan keluaran pompa serta *head tank* (tangki pengatur tekanan) serta pengontrol tinggi permukaan air. Pada pemilihan alat ukur dipilih alat ukur yang secara umum telah dipakai. Sedangkan sebagai alat kalibrator perlu dipilih suatu instrumentasi dengan akurasi tinggi. Sebagai instrumentasi kalibrator akan digunakan pitot tube. Korelasi antara kecepatan pendingin dan tekanan yang melalui pitot tube, dinyatakan dengan persamaan pitot:

$$V_s \approx v = [2 (p_o - p_s) / \rho]^{1/2} \quad (8)$$

Dengan:

$$V_s = \text{kecepatan statis, m/det}$$

$$V = \text{kecepatan pendingin, m/det}$$

$$P_o = \text{tekanan macet, kgf/m}^2$$

$$P_s = \text{tekanan statis, kgf/m}^2$$

$$\rho = \text{densitas air pendingin, kg/m}^3$$

HASIL RANCANGAN DAN PEMBAHASAN

Rancangan kalibrator dan kelengkapannya dibuat berdasarkan teori yang telah diuraikan dan sesuai tahapannya. Tangki berisi sesi uji (*test section*) dirancang sesuai dengan perbandingan antara diameter dan tinggi tangki. Tangki dipilih berbentuk silinder vertikal dengan diameter 0,9 meter dengan ketinggian 1,8 meter. Tangki ini diletakan di atas penyangga (*rig*) dengan ketinggian 1,5 meter dari atas permukaan tanah. Bahan tangki dipilih dari pelat SS 304 dengan ketebalan 0,5 inchi, agar dapat menahan tekanan air pendingin yang berada di dalam tangki. Tangki dirancang dengan tutup datar yang dilengkapi dengan lubang perawatan (*man hole*), dengan diameter lubang sebesar 0,5 meter. Karena tangki ini digunakan sebagai penampung air maka tutup tangki dipilih berbentuk datar. Adapun lubang

orang diperlukan untuk pemasangan elemen dummy pada grid atau untuk melakukan pekerjaan di dalam tangki. Di dasar tangki dibuat sebuah sesi uji (*test section*) dengan ukuran kisi 7,71cm x 8,1cm, sehingga elemen *dummy* dapat dimasukkan secara vertikal. Ujung keluaran (*endfitting*) elemen *dummy* akan berada di bagian luar bawah tangki, sehingga pengamatan pembacaan *pressure drop*/kecepatan pendinginan pada alat instrumentasi kalibrator dapat dilakukan dengan baik.

Sirkulasi aliran air pada untai uji kalibrator ini memerlukan pompa dengan spesifikasi kapasitas aliran sebesar ± 200 m³/jam atau ± 60 liter/detik, dengan head total yang rendah. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut dipilih sebuah pompa jenis sentrifugal dengan volut (*discharge*) kecil^[3]. Dengan mengetahui kapasitas pompa dan head total pompa maka spesifikasi pompa yang sesuai dapat ditentukan. Spesifikasi pompa yang dimaksud dapat dilihat dalam Tabel 1. Pompa diletakkan di permukaan lantai, dan dilengkapi dengan gate dan katup yang dapat mengatur besar kecilnya aliran air pendingin. Untuk mengontrol aliran dengan cukup leluasa maka dipilih katup jenis *gate valves*. Dengan demikian maka dapat disimulasi berbagai debit dan kecepatan pendingin yang melalui elemen bakar di teras RSG, sesuai dengan tujuan kedua dari pembuatan kalibrator. *Gate valve* ditempatkan sebelum dan sesudah pipa serta percabangannya. Jumlah *gate* seluruhnya ada 3 buah sedangkan untuk keperluan penempatan alat ukur dan air pelimpah (*drain*), digunakan *check valve*. Selain daripada itu pompa juga dilengkapi dengan meter pengukur tekanan dan kecepatan aliran. Pompa akan mengalirkan air melalui rangkaian pemipaan, air masuk melalui bagian atas tangki dan setelah melalui sesi uji, air akan mengalir keluar melalui bagian bawah tangki. Untuk mengantisipasi terjadinya limpahan air, disediakan

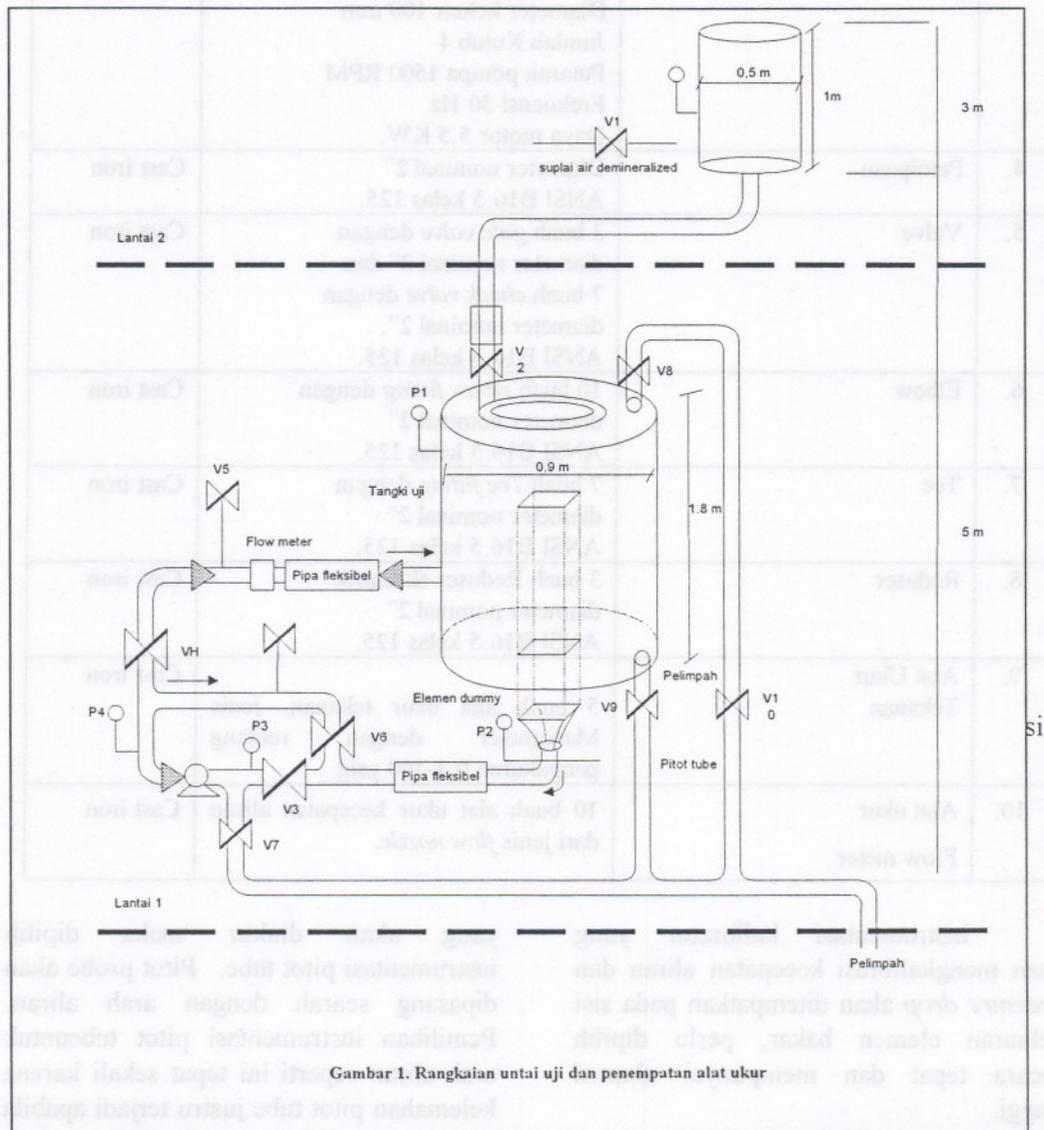
rangkaian pemipaan yang dilengkapi dengan katup-katup.

Kapasitas pemompaan seringkali ditentukan oleh kesempurnaan pemipaan. Karena itu pemipaan direncanakan untuk mendapatkan performansi pompa yang optimal. Untuk mengalirkan air dari pompa digunakan komponen pemipaan seperti *contraction* (reduser), Tee dan elbow. Diameter pipa yang digunakan ditentukan berdasarkan kecepatan aliran di dalam pipa, diameter pipa dipilih 2" dengan kecepatan aliran 2m/detik, dimana kecepatan aliran di dalam pipa pada umumnya antara 1 hingga 3m/detik^[3]. Diameter keluaran pompa sesuai spesifikasi yang dipilih adalah sebesar 100mm, sedangkan diameter pipa yang digunakan adalah 2". Maka di sini terdapat perbedaan antara diameter pipa dan diameter lubang keluar pompa. Perbedaan ini diatasi dengan menggunakan reduser atau difusor. Untuk menyambung pipa isap yang diameternya lebih besar dari pada diameter lubang isap pompa seperti ini, dipilih reduser jenis eksentrik. Pemilihan ini dimaksudkan untuk menghindari terbentuknya kantong udara. Seperti telah disebutkan di atas pada pemipaan diperlukan belokan, untuk menghindari besarnya hilang tekan (*head loss*) maka di sini diupayakan untuk menggunakan belokan sesedikit mungkin dengan sudut belokan sehalus mungkin. Sesuai dengan maksud tersebut maka tipe belokan yang dipilih adalah elbow, adapun jumlah dan spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 1

Agar supaya elemen *dummy* dan instrumentasi alat kalibrator tidak mengalami korosi, maka selain pemilihan bahan yang tepat, untai uji ini akan dialiri dengan air bebas mineral (*demineralized water*) dalam untai tertutup (*closed loop*). Air bebas mineral ini akan diambil melalui jalur pemipaan yang berasal dari produk samping RSG-GAS.

Untuk mengatur tekanan di dalam tangki uji sesuai dengan tekanan operasi teras RSG-GAS diperlukan sebuah tangki pengatur tekanan (*head tank*). Di mana tangki pengatur tekanan inilah yang pertama kali akan menampung air bebas mineral. Sebagai pengatur tekanan di dalam tangki uji, maka tangki pengatur tekanan akan diletakan 3 meter di atas ketinggian tangki uji. Tangki pengatur tekanan ini perlu dilengkapi dengan katup, meter pengukur tekanan dan pengontrol tinggi permukaan air (*control level*).

Untuk dapat mengontrol kondisi pada titik pengukuran/pengamatan, diperlukan pemilihan perlengkapan berupa alat ukur/meter pengukur tekanan, aliran dan tinggi permukaan air. Penempatan meter-meter pengukur perlu dipertimbangkan dengan seksama. Pemasangan gerbang aliran, pengukur tekanan dan pengukur aliran secara keseluruhan dapat di lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian untai uji dan penempatan alat ukur

Spesifikasi peralatan sesuai hasil rancangan dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1: Spesifikasi Peralatan yang digunakan

No.	NAMA ALAT	DIMENSI/JENIS/KAPASITAS	BAHAN
1.	Tangki Uji	Tinggi: 1,8m, Diameter 0,9m, Tebal 0,5" Jenis tutup datar (<i>floating roof tank</i>).	SS 304
2.	Tangki pengatur tekanan	Tinggi 1m, Diameter 0,5m, Tebal 0,5"	SS 304
3.	Pompa	Jenis Sentrifugal (<i>radial-flow</i>) dengan volut kecil. Kapasitas 200m ³ /jam Head Total 8m Diameter isap 125 mm Diameter keluar 100 mm Jumlah Kutub 4 Putaran pompa 1500 RPM Frekuensi 50 Hz Daya motor 5,5 KW.	Cast Iron
4.	Pemipaan	Diameter nominal 2" ANSI B16.5 kelas 125.	Cast iron
5.	Valve	3 buah <i>gate valve</i> dengan diameter nominal 2" dan 7 buah <i>check valve</i> dengan diameter nominal 2". ANSI B16.5 kelas 125.	Cast iron
6.	Elbow	10 buah <i>elbow fitting</i> dengan diameter nominal 2" ANSI B16.5 kelas 125.	Cast iron
7.	Tee	7 buah <i>Tee fitting</i> dengan diameter nominal 2" ANSI B16.5 kelas 125.	Cast iron
8.	Reduser	3 buah Reduser eksentrik diameter nominal 2" ANSI B16.5 kelas 125.	Cast iron
9.	Alat Ukur Tekanan	5 buah alat ukur tekanan, Jenis Manometer dengan rentang pengukuran 0,1-100 psig	Cast iron
10.	Alat ukur Flow meter	10 buah alat ukur kecepatan aliran dari jenis <i>flow nozzle</i> .	Cast iron

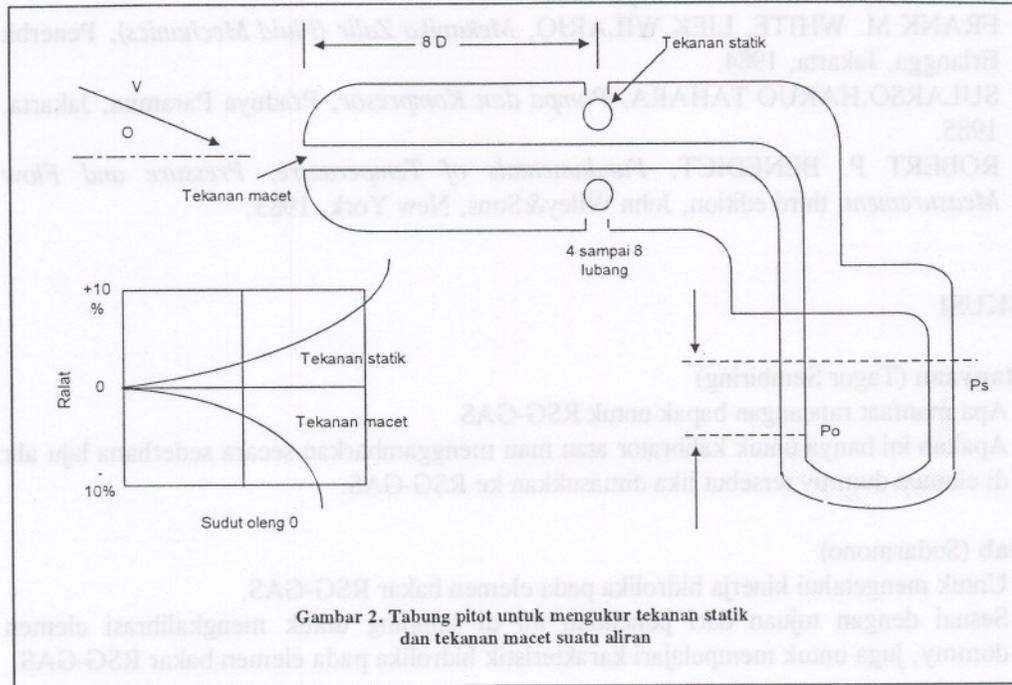
Instrumentasi kalibrator yang akan mengkalibrasi kecepatan aliran dan *pressure drop* akan ditempatkan pada sisi keluaran elemen bakar, perlu dipilih secara tepat dan mempunyai akurasi tinggi.

Dengan mempertimbangkan adanya agihan (gaya) tekanan dalam medan aliran

yang akan diukur maka dipilih instrumentasi pitot tube. Pitot probe akan dipasang searah dengan arah aliran. Pemilihan instrumentasi pitot tube untuk arah aliran seperti ini tepat sekali karena kelemahan pitot tube justru terjadi apabila pitot probe tidak searah dengan arah aliran^[4].

Pemasangan pitot probe searah aliran akan mengurangi ralat yang terjadi, apabila dibandingkan dengan tekanan

dinamikanya ($Pv^2/2$), seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tabung pitot untuk mengukur tekanan statik dan tekanan macet suatu aliran

Rancangan yang dilakukan di sini merupakan rancangan awal, meskipun demikian rancangan ini telah memperhitungkan jenis dan spesifikasi peralatan serta alur pemipaan dan penempatan alat-alat ukur yang diperlukan. Sehingga diharapkan dengan melihat gambaran yang telah dibuat, pada tahap berikutnya dapat dilakukan rancangan dasar (*basic design*) dan studi kinerjanya.

KESIMPULAN

Dari hasil konsep rancangan yang telah dilakukan disimpulkan bahwa:

1. Rangkaian rancangan alat telah memperhitungkan jenis dan spesifikasi peralatan serta alur pemipaan dan penempatan alat-alat

ukur yang diperlukan. Sebagai instrumentasi kalibrator dipilih pitot tube.

2. Rancangan kalibrator dibuat dalam suatu untai tertutup dengan menggunakan air bebas mineral untuk mencegah terjadinya korosi. Untuk itu diperlukan suatu jalur pemipaan dari tangki penampung produksi air bebas mineral RSG-GAS.
3. Dengan memperhitungkan kondisi batas operasi dari segi termohidrolika teras RSG-GAS, rancangan pembuatan kalibrator laju alir dan tekanan ini dapat sekaligus dimanfaatkan untuk mengetahui unjuk kerja (*performance*) hidrolika pada elemen bakar RSG-GAS.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonym, *Safety Analysis Report of the Indonesian Multipurpose Reactor GA-Siwabessy*, Rev.7, BATAN, Sept. 1989.
2. FRANK M. WHITE, LIEK WILARJO, *Mekanika Zalir (Fluid Mechanics)*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1984.
3. SULARSO, HARUO TAHARA, *Pompa dan Kompresor*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1985.
4. ROBERT P. BENEDICT, *Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurement*, third edition, John Wiley&Sons, New York, 1983.

DISKUSI**Pertanyaan (Tagor Sembiring)**

1. Apa manfaat rancangan bakap untuk RSG-GAS
2. Apakah ini hanya untuk kalibrator atau mau menggambarkan secara sederhana laju alir di elemen dummy tersebut jika dimasukkan ke RSG-GAS.

Jawab (Sudarmono)

1. Untuk mengetahui kinerja hidrolika pada elemen bakar RSG-GAS.
2. Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini di samping untuk mengkalibrasi elemen dummy, juga untuk mempelajari karakteristik hidrolika pada elemen bakar RSG-GAS.

Pertanyaan (N.Nababan)

Tolong dijelaskan

1. Gambar rancangan
2. Kalkulasi rancangan
3. Hasil rancangan, spesifikasi rancangan dan efisiensi rancangan.

Jawab (Sudarmono)

1. Gambar rancangan ada pada makalah Gambar 1.
2. Hasil rancangan, spesifikasi rancangan dll dijelaskan pada pembahasan dan dapat dilihat pada Tabel 1.