



UNIVERSITAS INDONESIA

**VALIDASI *PRESSURE GAUGE* PADA MESIN PLTU 450
WATT DENGAN ANALISA PENGUKURAN OUTPUT
*PRESSURE TRANSDUCER***

SKRIPSI

ERMAN DENIARSAH

0906604754

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**VALIDASI *PRESSURE GAUGE* PADA MESIN PLTU 450
WATT DENGAN ANALISA PENGUKURAN OUTPUT
*PRESSURE TRANSDUCER***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ERMAN DENIARSAH

0906604754

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

KEKHUSUSAN PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA EKSTENSI

DEPOK

JUNI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Erman Deniarsah

NPM : 0906604754

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Erman Deniarsah
NPM : 0906604754
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Validasi *Pressure gauge* pada Mesin PLTU 450 Watt dengan Analisa Pengukuran Output *Pressure transducer*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Raldi Artono Koestoer, DEA.

Sekretaris : Dr. Agus Sunjarianto Pamitran, S.T., M.Eng.

Penguji : Dr.Ir. Engkos A. Kosasih, M.T.

Penguji : Dr.Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng.

Penguji : Dr.Ir. Harun Al Rosyid, M.M., M.T.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT., atas rahmat dan izin-Nya penulisan skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi yang berjudul **Validasi *Pressure Gauge* pada Mesin PLTU 450 Watt dengan Analisa Pengukuran Output *Pressure Transducer*** ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan Sarjana Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.

Selama proses pengerjaan ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak maka, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof.Dr.Ir. Raldi Artono Koestoer, DEA., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberi koreksi selama penyusunan skripsi ini.
2. Orang tua, istri, dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
3. Bapak Syarifudin, bapak Yasin, bapak Udiono, dan bapak Supri selaku teknisi lab DTM yang telah membantu menyediakan berbagai alat kerja dan alat instrumentasi.
4. Ibnu Roihan rekan seperjuangan satu bimbingan skripsi yang telah sama-sama memberikan banyak kontribusi dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Prof. Dr. Herawati Sudoyo, selaku wakil pimpinan lembaga Eijkman, ibu Dr. Wanny Basuki, selaku manager laboratorium BSL-3 lembaga Eijkman, yang telah memberikan izin guna keperluan perkuliahan.
6. Bapak Syamsi Ismail, ST dan seluruh staf di Pusat KIM LIPI Serpong yang telah memberikan izin guna studi banding ke laboratorium kalibrasi.
7. Teman-teman mahasiswa S1 PPSE angkatan 2009 yang telah banyak membantu dan menjadi salah satu tempat untuk bertukar informasi.

Besar harapan penulis, skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Semoga Allah SWT. memberi balasan atas bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak, amin.

Depok, 28 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Erman Deniarsah
NPM : 0906604754
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**VALIDASI *PRESSURE GAUGE* PADA MESIN PLTU 450 WATT
DENGAN ANALISA PENGUKURAN OUTPUT *PRESSURE*
*TRANSDUCER***

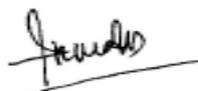
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 28 Juni 2012

Yang menyatakan,



(Erman Deniarsah)

ABSTRAK

Nama : Erman Deniarsah
Program studi : Teknik mesin
Judul : Validasi *Pressure gauge* pada Mesin PLTU 450 watt
dengan Analisa Pengukuran *Output Pressure transducer*

Penelitian ini dilakukan untuk melakukan validasi beberapa *pressure gauge* yang terdapat pada mesin PLTU 450 Watt dengan adanya permasalahan nilai efisiensi termal pada penelitian sebelumnya yang sangat rendah jika dibandingkan dengan nilai efisiensi normal. Adanya dugaan bahwa hasil pengukuran tekanan oleh *pressure gauge* yang kurang akurat sehingga menjadi salah satu faktor penyebab perhitungan nilai efisiensi yang kecil. Validasi *pressure gauge* ini dilakukan dengan metode perbandingan dengan suatu *pressure transducer* merk OMEGA tipe PX800-100 GV yang memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan *pressure gauge*. Dari hasil pengujian *pressure transducer*, dapat diketahui bahwa output *pressure transducer* berbanding lurus (linear) dengan tekanan input yang diberikan dan memiliki nilai gradien garis 13,61 milivolt per bar gauge (barg) pada rentang pengukuran 0-8 barg. Dari hasil validasi *pressure gauge* terhadap 5 *pressure gauge* pada rentang tekanan 0- 8 barg dapat diketahui bahwa kelima *pressure gauge* memiliki range nilai akurasi 5% - 7,5%. Dengan demikian jika dibandingkan dengan nilai akurasi sesuai spesifikasinya yaitu 1,5 %, nilai akurasi *pressure gauge* P-01 s.d. P-05 memiliki nilai akurasi yang sudah turun.

Kata kunci : validasi, *pressure gauge*, *pressure transducer*, *output*, PLTU 450 watt

ABSTRACT

Name : Erman Deniarsah
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Validation of Pressure gauge on the 450 watt Steam Power Plant by Measurement Analysis of a Pressure Transducer

The study was conducted to validate some pressure gauges located on the 450 watt power plant engine. The calculation of thermal efficiency in the previous studies was very low comparing to the normal efficiency. That was alleged by the pressure measurement which less accurate. Pressure gauge validation was performed by the method of comparison with a pressure transducer OMEGA PX800-100 GV that has higher accuracy when it was compared to the pressure gauge. From the test results, it could be seen that the pressure transducer output is directly proportional (linear) with a given input pressure and has a gradient of line 13.61 milivolts per bar gauge (barg) in the measurement range of 0-8 barg. Validation results of five pressure gauges in the range of 0-8 barg have 5%-7,5% accuracy. Thus when this actual accuracy were compared with their pressure gauge specification, i.e 1.5%, the accuracy of all pressure gauges has been dropped.

Key words: validation, pressure gauge, pressure transducer, output, 450 watt steam power plant

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GRAFIK	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tekanan	6
2.2. Pengukuran Tekanan dengan <i>Pressure gauge</i> tipe Tabung Bourdon (<i>Bourdon Tube</i>)	8
2.2.1 Sifat Histerisis Tabung Bourdon	11
2.2.2 <i>Pressure gauge</i> berdasarkan Standar ASME (<i>American Society of Mechanical Engineer</i>)	11
2.3. Pengukuran Tekanan dengan <i>Pressure gauge</i> tipe Diafragma	14
2.4. Pengukuran Tekanan dengan <i>Pressure transducer</i>	14
2.4.1 Prinsip Kerja dari <i>Pressure transducer</i>	15
2.4.2 Jenis <i>Pressure transducer</i> dan Rangkaian Pengukuran	16
2.4.3 Karakteristik <i>Pressure transducer</i>	17
2.4.3.1 Akurasi	17
2.4.3.2 Presisi	20
2.4.3.3 <i>Gage Repeatability dan Reproducibility (R&R)</i>	20
2.5. Kalibrasi Alat Ukur Tekanan	24
2.6. Kalibrasi Alat Ukur Tekanan Berdasarkan Standar Nasional Puslit KIM LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)	28
BAB 3 PERANGKAT DAN METODE PENGUKURAN	31
3.1. <i>Pressure gauge</i> pada Miniatur PLTU	31
3.2. <i>Pressure transducer</i>	33
3.3. Untaian alat uji	34
3.4. Prosedur Pengujian	39
3.5. Diagram alir penelitian	44

BAB 4 HASIL PENGUKURAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	46
4.1. Pengambilan dan Pengumpulan data.....	46
4.2. Pengolahan dan Analisa Data	47
4.2.1 Pengujian alat ukur <i>voltmeter</i>	47
4.2.2 Pengukuran Output <i>Pressure transducer</i>	47
4.3. Analisa Gage Repeatability dan Reproducibility (R&R)	60
4.4. Validasi <i>Pressure gauge</i>	62
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.	 74
5.1. Kesimpulan	74
5.2. Saran	75
 DAFTAR REFERENSI	 76
LAMPIRAN 1 Data II pengujian <i>voltmeter</i> Fluke 189 RMS Multimeter	77
LAMPIRAN 2 Data I Output <i>Pressure transducer</i> I bernomor seri S/N 448206.....	78
LAMPIRAN 3 Data I Output <i>Pressure transducer</i> II bernomor seri S/N 448209 (Tahap I).....	79
LAMPIRAN 4 Data I Output <i>Pressure transducer</i> II bernomor seri S/N 448209 (Tahap II) Kenaikkan Tekanan 0-8 barg.....	80
LAMPIRAN 5 Data I Output <i>Pressure transducer</i> II bernomor seri S/N 448209 (Tahap II) Penurunan Tekanan 8-0 barg	81
LAMPIRAN 6 Output <i>Pressure transducer</i> II bernomor seri S/N 448209 dengan Alat Ukur Pembanding Fluke 114 Kenaikkan Tekanan 0-6 barg	82
LAMPIRAN 7 Analisa <i>Repeatability dan Reproducibility</i> ; Output <i>Pressure transducer</i> OMEGA PX800-100 GV - 0 barg	83
LAMPIRAN 8 Perhitungan nilai kesalahan akibat non-repeatability; Output <i>Pressure transducer</i> OMEGA PX800-100 GV.....	84
LAMPIRAN 9 Spesifikasi <i>Pressure transducer</i> PX800-100GV.....	85
LAMPIRAN 10 Standar Kalibrasi <i>Pressure gauge</i>	87

Lampiran 11 s.d 71 dihimpun dalam format CD.

Bagi yang membutuhkan dapat menghubungi Bapak Prof. Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer, DEA atau saudara Erman Deniarsah (081388965009)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Hubungan antara tekanan absolut, tekanan atmosfer, tekanan gauge, dan tekanan vakum.....	6
Gambar 2.2. Tekanan atmosfer dan tekanan absolut	7
Gambar 2.3. Tabung <i>Bourdon</i>	8
Gambar 2.4. Bagian Tabung <i>Bourdon</i>	9
Gambar 2.5. Gambar penampang melintang dan contoh ukuran dari Tabung <i>Bourdon</i>	10
Gambar 2.6. Hubungan pembebanan dengan histerisis Tabung <i>Bourdon</i>	11
Gambar 2.7. Pengukur jenis diafragma.....	14
Gambar 2.8. <i>Strain gauge</i>	15
Gambar 2.9. Rangkaian strain gauge terhubung jembatan <i>wheatstone</i>	15
Gambar 2.10. <i>Pressure transducer</i>	16
Gambar 2.11. Rangkaian pengukuran <i>pressure transducer</i> keluaran milivolt	17
Gambar 2.12. Histerisis pada <i>pressure transducer</i>	18
Gambar 2.13. Metode BSFL (<i>Best Fit Straight Line</i>).....	19
Gambar 2.14. Nilai <i>non-repeatability</i>	19
Gambar 2.15. Grafik kontrol analisa R&R	23
Gambar 2.16. Urutan Pengukuran Standar Tekanan	25
Gambar 2.17. Kalibrasi <i>pressure gauge</i> dengan <i>test gauge</i>	26
Gambar 2.18. Kalibrasi <i>pressure gauge</i> dengan <i>deadweight tester</i>	27
Gambar 2.19. Kalibrator tekanan portabel	28
Gambar 2.20. Kalibrasi <i>pressure gauge</i>	29
Gambar 3.1. <i>Pressure gauge</i> pada PLTU	31
Gambar 3.2. Posisi <i>pressure gauge</i> pada siklus <i>Rankine</i> aktual PLTU.....	32
Gambar 3.3. <i>Pressure transducer</i>	33
Gambar 3.4. <i>Pressure regulator</i>	34
Gambar 3.5. Instalasi selang udara	35
Gambar 3.6. <i>Power supply</i>	35
Gambar 3.7. <i>Voltmeter</i> dan <i>Amperemeter</i>	36
Gambar 3.8. Skematik rangkaian pengukuran output <i>pressure transducer</i> ...	37
Gambar 3.9. Skematik rangkaian pengukuran validasi <i>pressure gauge</i>	38
Gambar 3.10. <i>Power supply</i> 10 volt DC	41
Gambar 3.11. Keran pengatur pada <i>pressure regulator</i>	42
Gambar 3.12. Alat ukur <i>Voltmeter</i> pembanding (Fluke 114).....	43
Gambar 3.13. Rangkaian pengukuran validasi <i>pressure gauge</i>	43
Gambar 3.14. Diagram alir penelitian	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel analisa <i>Repeatability dan reproducibility</i> (R&R).....	22
Tabel 2.2 Tabel 2.2 Konstanta D_3 dan D_4	23
Tabel 4.1 Hasil pengukuran output <i>pressure transducer</i> tahap I OMEGA S/N 448209.....	49
Tabel 4.2 Rata-rata pengukuran output <i>pressure transducer</i> OMEGA S/N 448209 tahap II (kenaikkan tekanan)	50
Tabel 4.3 Rata-rata pengukuran output <i>pressure transducer</i> OMEGA S/N 448209 tahap II (penurunan tekanan).....	50
Tabel 4.4 Perbedaan rata-rata output <i>pressure transducer</i> OMEGA S/N 448209 tahap I dan II.....	51
Tabel 4.5 Perbandingan pengukuran output <i>pressure transducer</i> dengan Fluke RMS 189 dan Fluke	52
Tabel 4.6 Hasil rata-rata output <i>pressure transducer</i> OMEGA S/N 448209 tahap II.....	53
Tabel 4.7 Tabel perhitungan regresi linear	55
Tabel 4.8 Persentase kesalahan <i>non-linearity</i> output <i>pressure transducer</i> OMEGA S/N 448209	58
Tabel 4.9 Data Validasi <i>Pressure gauge</i> P-01	62
Tabel 4.10 Akurasi <i>Pressure gauge</i> P-01	64
Tabel 4.11 Data Validasi <i>Pressure gauge</i> P-02.....	65
Tabel 4.12 Akurasi <i>Pressure gauge</i> P-02	65
Tabel 4.13 Data Validasi <i>Pressure gauge</i> P-03.....	66
Tabel 4.14 Akurasi <i>Pressure gauge</i> P-03	66
Tabel 4.15 Data Validasi <i>Pressure gauge</i> P-04.....	67
Tabel 4.16 Akurasi <i>Pressure gauge</i> P-04	68
Tabel 4.17 Data Validasi <i>Pressure gauge</i> P-05.....	69
Tabel 4.18 Akurasi <i>Pressure gauge</i> P-05	69
Tabel 4.19 Rata-rata perhitungan Akurasi <i>Pressure gauge</i>	70

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik karakteristik output <i>pressure transducer</i> OMEGA tipe PX800-100 GV S/N 448209.....	56
Grafik 4.2 Perbandingan tekanan referensi dan tekanan <i>pressure gauge</i> yang divalidasi	72
Grafik 4.3 Perbandingan % akurasi <i>pressure gauge</i> yang divalidasi	73



DAFTAR NOTASI

P	Tekanan (<i>Pascal</i>)
F	Gaya (<i>Newton</i>)
A	Luas penampang (m^2)
p_{gage}	Tekanan pengukuran
p_{atm}	Tekanan atmosfer
FS	<i>Full scale</i>
RSS	<i>Root Sum Square</i>
R&R	<i>Repeatability dan Reproducibility</i>
UUT	<i>Unit Under Test</i>
S/N	<i>Serial Number</i>
y	Variabel terikat dalam persamaan regresi linear atau dalam laporan ini melambangkan output <i>pressure transducer</i>
x	Variabel bebas dalam persamaan regresi linear atau dalam laporan ini melambangkan input tekanan
R^2	Koefisien determinasi
P_{ref}	Tekanan acuan pada proses validasi <i>pressure gauge</i>
P_{gauge}	Tekanan pada <i>gauge</i> pada proses validasi <i>pressure gauge</i>
\bar{x}, \bar{y}	Nilai rata-rata suatu data pengamatan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam proses analisis unjuk kerja suatu mesin Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) diperlukan data-data tekanan dan temperatur. Data ini diperoleh dari hasil pengukuran tekanan dan temperatur operasi dari PLTU tersebut.

Pada umumnya, setiap mesin PLTU dilengkapi dengan pressure gauge analog atau instrumen pengukur tekanan secara digital guna mengetahui tekanan kerja mesin tersebut. Walaupun pressure gauge yang terpasang hanya merupakan indikator tekanan akan tetapi hasil yang terukur dapat digunakan untuk mengetahui sifat termal fluida steam atau uap yang digunakan pada mesin PLTU tersebut. Dengan demikian sifat-sifat termal dari uap tersebut dapat diketahui nilainya dan nilai itu digunakan untuk analisa termal mesin PLTU tersebut. Pressure gauge yang digunakan sebagai indikator tekanan tersebut harus dapat menunjukkan pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya sehingga perhitungan analisa termal menjadi lebih akurat.

Penelitian ini dilakukan untuk melakukan pengujian pressure gauge analog yang digunakan suatu miniatur mesin PLTU berdaya 450 Watt di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Indonesia PLTU. Dengan pengujian ini diharapkan dapat diketahui pressure gauge yang masih menunjukkan ukuran yang sesuai dengan spesifikasinya. Selain itu, hasil pengukuran pressure gauge divalidasi oleh hasil pengujian suatu pressure transducer yang memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi sesuai dengan spesifikasinya jika dibandingkan dengan pressure gauge jenis analog.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, terdapat rumusan masalah dalam studi ini yaitu :

1. Terdapat permasalahan hasil perhitungan efisiensi termal PLTU 450 Watt pada penelitian sebelumnya yang hanya mencapai 3,78 % dan 3,88%. Jika dibandingkan dengan nilai efisiensi aktual yang pada

umumnya terjadi pada suatu PLTU yang bisa mencapai 40% lebih, maka nilai ini efisiensi PLTU 450 watt ini sangat kecil

2. Adanya dugaan bahwa hasil pengukuran tekanan pada penelitian sebelumnya kurang akurat sehingga menjadi salah satu penyebab terjadinya penyimpangan hasil perhitungan nilai efisiensi termal PLTU 450 watt.
3. Bagaimana membuat suatu metode pengecekan atau validasi nilai tekanan yang terukur pada beberapa pressure gauge analog yang digunakan pada PLTU 450 watt.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mempelajari sifat-sifat yang harus dimiliki oleh suatu alat ukur tekanan seperti tingkat akurasi dan kepresisian, histerisis, repeatability dan reproducibility.
2. Untuk mengetahui karakteristik output suatu pressure transducer untuk rentang pengukuran 0-8 bar gauge yang akan digunakan sebagai alat pengukuran tekanan pada PLTU 450 watt
3. Untuk mengetahui validitas nilai tekanan yang diukur oleh beberapa pressure gauge yang terpasang di PLTU 450 Watt Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia sehingga dapat diketahui pressure gauge yang masih memiliki karakteristik sesuai dengan spesifikasinya.

1.4 Batasan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini, analisa hasil pengujian dititik beratkan pada analisa hasil pengukuran tekanan oleh pressure gauge analog tipe tabung Bourdon bentuk "c" (*Bourdon Tube "c" shape*) dan suatu pressure transducer pada rentang tekanan 0-8 bar gauge (barg). Tidak menghitung bagaimana deformasi pressure gauge dan rangkaian di dalam pressure transducer.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam studi ini dilakukan beberapa metode yaitu :

1. Studi literatur

Studi ini dilakukan untuk mengetahui dasar-dasar pengukuran tekanan dengan pressure gauge dan pressure transducer yang terdapat pada buku penunjang seperti standar ASME B40.100 dari Asosiasi Ahli Teknik Mesin Amerika, handbook pengukuran tekanan dan temperatur, studi tentang pengujian nilai awal (inisiasi) dari suatu multimeter, dan studi dari katalog pressure gauge dan pressure transducer serta materi pendukung lainnya dari situs internet.

2. Set-up perangkat pengujian

Perangkat pengujian ini dibuat agar memudahkan proses pengukuran sehingga didapatkan hasil pengukuran yang benar. Perangkat pengujian ini terdiri dari pressure transducer, pressure gauge analog, pengatur tekanan udara (*air pressure regulator*), peralatan catu daya, dan multimeter digital.

3. Pengambilan Data.

Data yang diambil terdiri dari 3 jenis yaitu :

a. Pengukuran Output Pressure Transducer

Dengan mengatur nilai input tekanan yang diberikan dalam range 0-8 barg maka nilai output pressure transducer ini diukur dengan menggunakan multimeter digital. Hasil pengukuran output ini diplot dalam bentuk grafik dan dari grafik ini dapat ditentukan karakteristik dari pressure transducer ini sehingga dapat digunakan sebagai referensi pengukuran tekanan pada mesin PLTU 450 watt.

b. Pengukuran output pressure dengan alat ukur pembanding

Metode ini bertujuan untuk menguji hasil yang didapat dari pengukuran yang telah dilakukan dengan alat ukur lain. Dengan demikian hasil yang telah didapatkan sudah benar

c. Validasi pressure gauge analog

Setelah mendapatkan nilai referensi pengukuran tekanan dari pressure transducer maka dilakukan proses validasi tekanan yang diukur oleh pressure gauge analog pada rentang pengukuran 0-8 barg. Dari hasil ini kemudian diplot dalam bentuk grafik sehingga dapat diketahui karakteristik dari pressure gauge analog ini.

4. Analisa data hasil pengukuran

Dari data-data yang didapat dari metode di atas maka dilakukan proses analisa data meliputi analisa statistik, analisa grafik, analisa sifat repeatability dan reproducibility dan sifat alat ukur lainnya

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini penulis menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan studi, batasan masalah, metodologi studi, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini penulis menjelaskan tentang dasar-dasar teoritis atau konsep-konsep yang digunakan sebagai dasar pemikiran untuk menjelaskan tentang masalah yang akan dibahas. Tinjauan ini meliputi dasar-dasar pengukuran tekanan dengan pressure gauge dan pressure transducer, serta perhitungan-perhitungan untuk menganalisa data suatu hasil pengukuran.

BAB III PERANGKAT DAN METODE PENGUKURAN

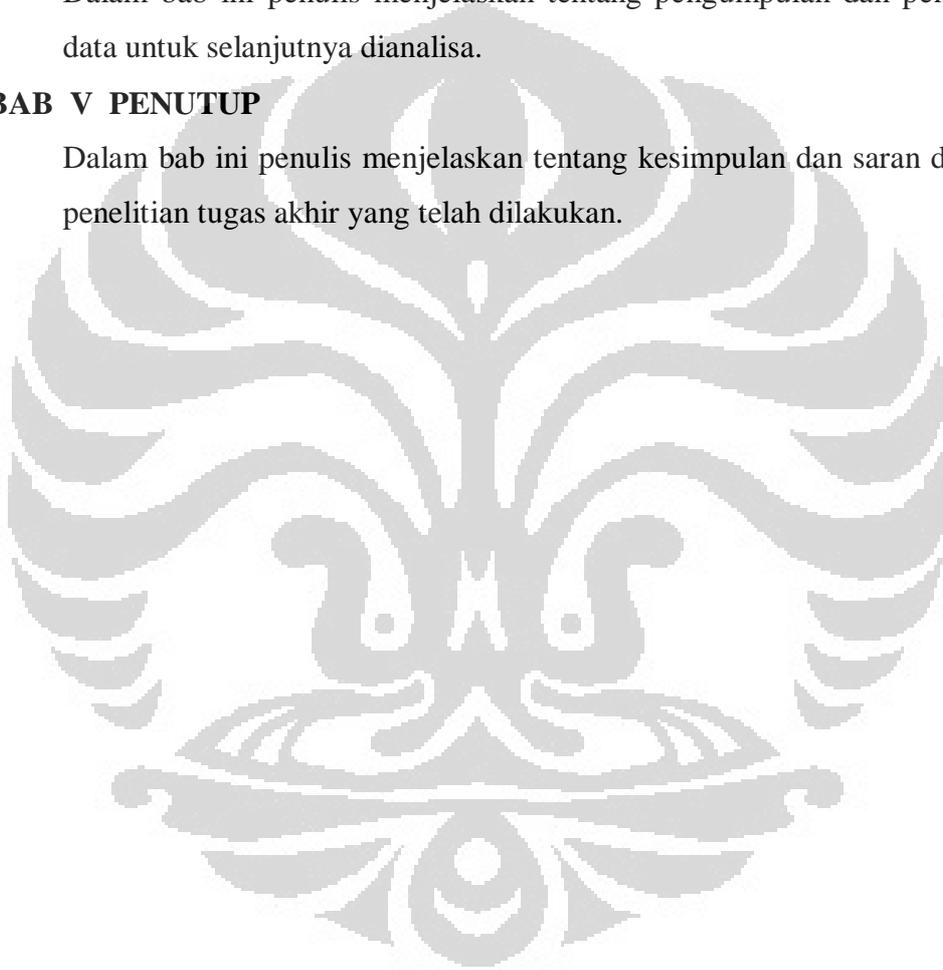
Dalam bab ini penulis menjelaskan tentang alur penelitian dan prosedur penelitian yang terdiri dari prosedur metode pengukuran dan bagian-bagian dari alat penguji yang digunakan dalam penelitian. Selain itu dijelaskan juga mengenai skematik alat uji dan kondisi pengujian yang akan dilakukan.

BAB IV HASIL PENGUKURAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam bab ini penulis menjelaskan tentang pengumpulan dan pengolahan data untuk selanjutnya dianalisa.

BAB V PENUTUP

Dalam bab ini penulis menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian tugas akhir yang telah dilakukan.



BAB 2

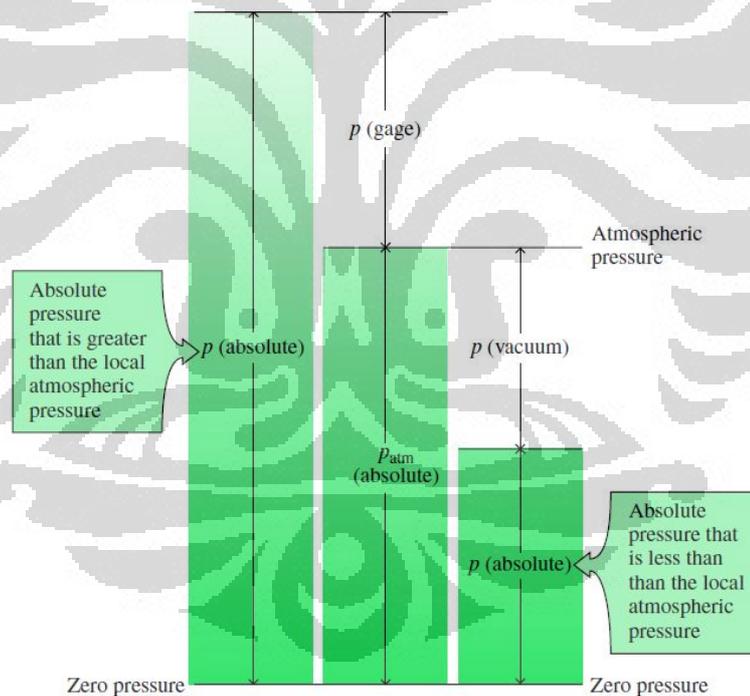
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tekanan

Tekanan adalah gaya normal (F) tegak lurus yang diberikan oleh suatu fluida persatuan luas benda (A) yang terkena gaya tersebut.

$$P = \frac{F}{A} \quad \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (2.1)$$

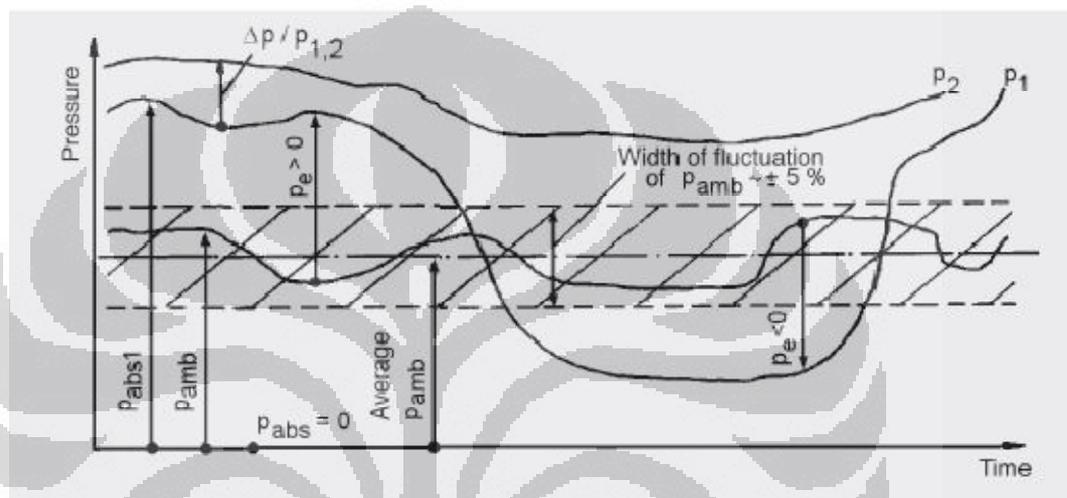
Tekanan sebenarnya atau aktual pada suatu posisi tertentu disebut dengan tekanan absolut sedangkan tekanan yang dibaca oleh suatu alat ukur disebut dengan tekanan gage atau tekanan vakum. Hubungan antara tekanan absolut, tekanan atmosfer, tekanan gauge, dan tekanan vakum ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Hubungan antara tekanan absolut, tekanan atmosfer, tekanan gauge, dan tekanan vakum.

(Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro, 2006)

Tekanan atmosfer adalah tekanan yang terukur di permukaan bumi sekarang dan nilainya berubah terhadap ketinggian dan kondisi cuaca. Semakin tinggi permukaan maka tekanan akan semakin rendah.. Tekanan atmosfer ini pada permukaan air laut rata-rata sebesar 29,90 inchi air raksa atau 1 atmosfer. Nilai tekanan atmosfer ini juga berubah terhadap kondisi cuaca sekitarnya dan dapat berfluktuasi sekitar $\pm 5\%$ (Beckerath, 2008). Seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini :



Gambar 2.2 Tekanan atmosfer dan tekanan absolut

(Beckerath, 2008)

Dalam termodinamika, tekanan p umumnya dinyatakan dalam harga absolut (tekanan absolut/mutlak). Tekanan absolut tergantung pada tekanan pengukuran sistem. Oleh karena itu, hubungan antara tekanan absolut, tekanan pengukuran dan tekanan vakum yaitu sebagai berikut:

1. Bila tekanan pengukuran (*pressure gauge*) sistem diatas tekanan atmosfer, maka :

Tek absolut = Tek pengukuran + Tek Atmosfir

$$p_{absolut} = p_{gage} + p_{atm}$$

2. Bila tekanan pengukuran (*pressure gauge*) sistem di bawah tekanan atmosfer maka :

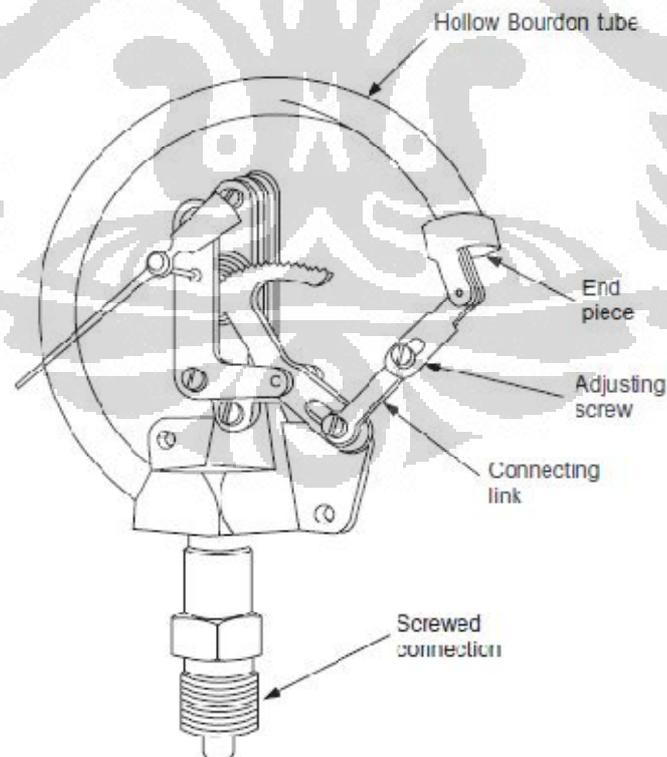
Tek absolut = Tek atmosfer – Tek pengukuran

$$p_{absolut} = p_{atm} - p_{vakum}$$

2.2 Pengukuran tekanan dengan *pressure gauge* tipe tabung *Bourdon* (*Bourdon Tube*)

Di dalam *pressure gauge* tipe tabung *Bourdon* (*Bourdon tube*) biasanya digunakan suatu material yang sifatnya secara mekanis akan mengalami deformasi jika diberikan tekanan pada material tersebut. Pada alat ini terdapat sejenis pipa yang berpenampang lingkaran elips dibentuk setengah lingkaran yang merupakan bagian yang dapat mensensor perubahan tekanan.

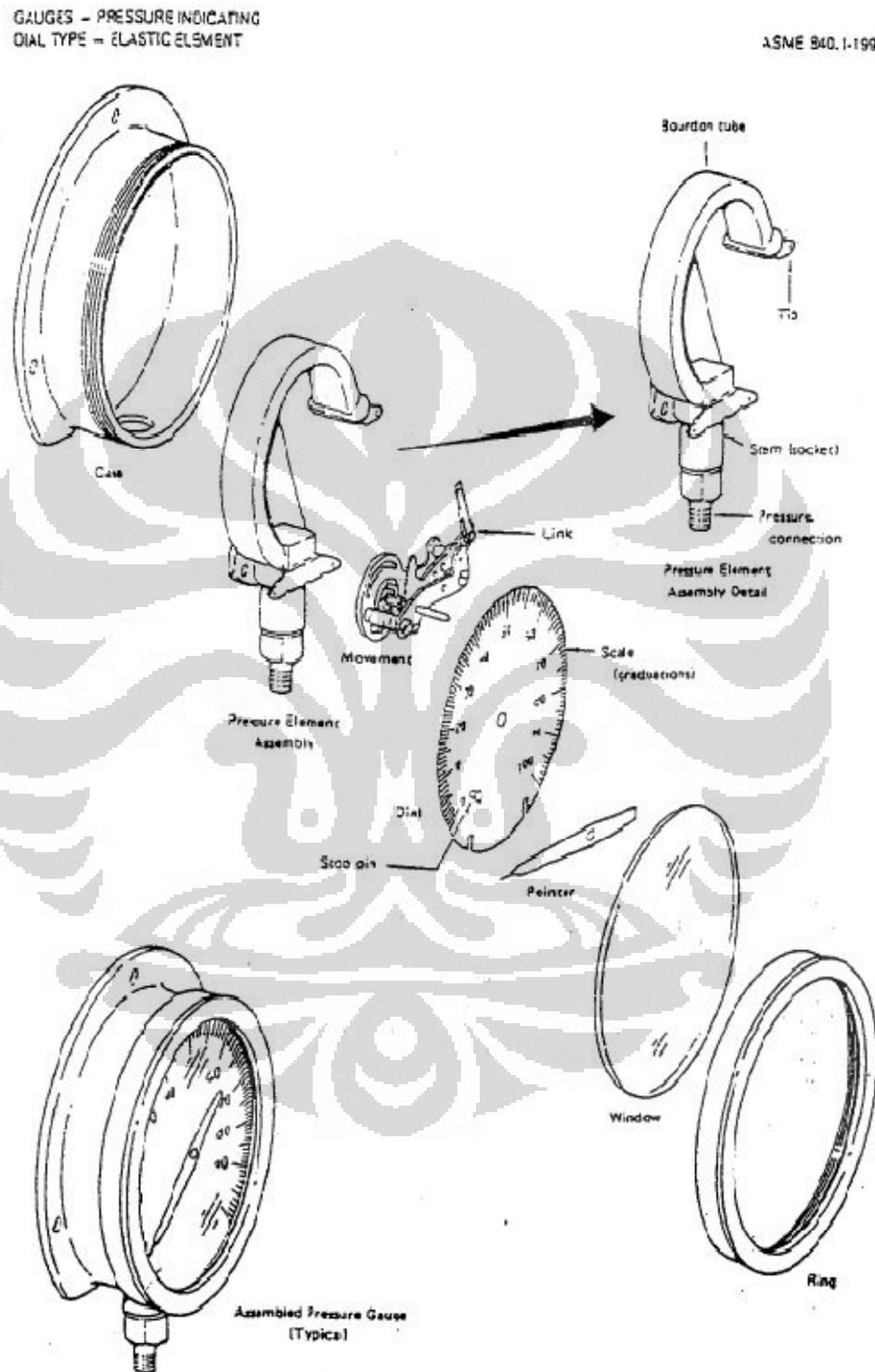
Untuk pemakaian di bidang industri, tabung biasanya terbuat dari tembaga/kuningan, stainless steel 316 dan Monel. Salah satu ujungnya dibuat bebas bergerak dan kemudian dihubungkan dengan suatu roda gigi sehingga dapat menunjukkan tekanan yang terukur pada pointer atau jarum indikator yang telah terkalibrasi. Perubahan tekanan ini dirasakan oleh pipa *Bourdon* secara proporsional sehingga menunjukkan nilai tekanan yang terukur. Mekanisme dari tabung *Bourdon* tipe “c” terdapat pada gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3. Tabung *Bourdon*

(G.MS. de Silva,2002)

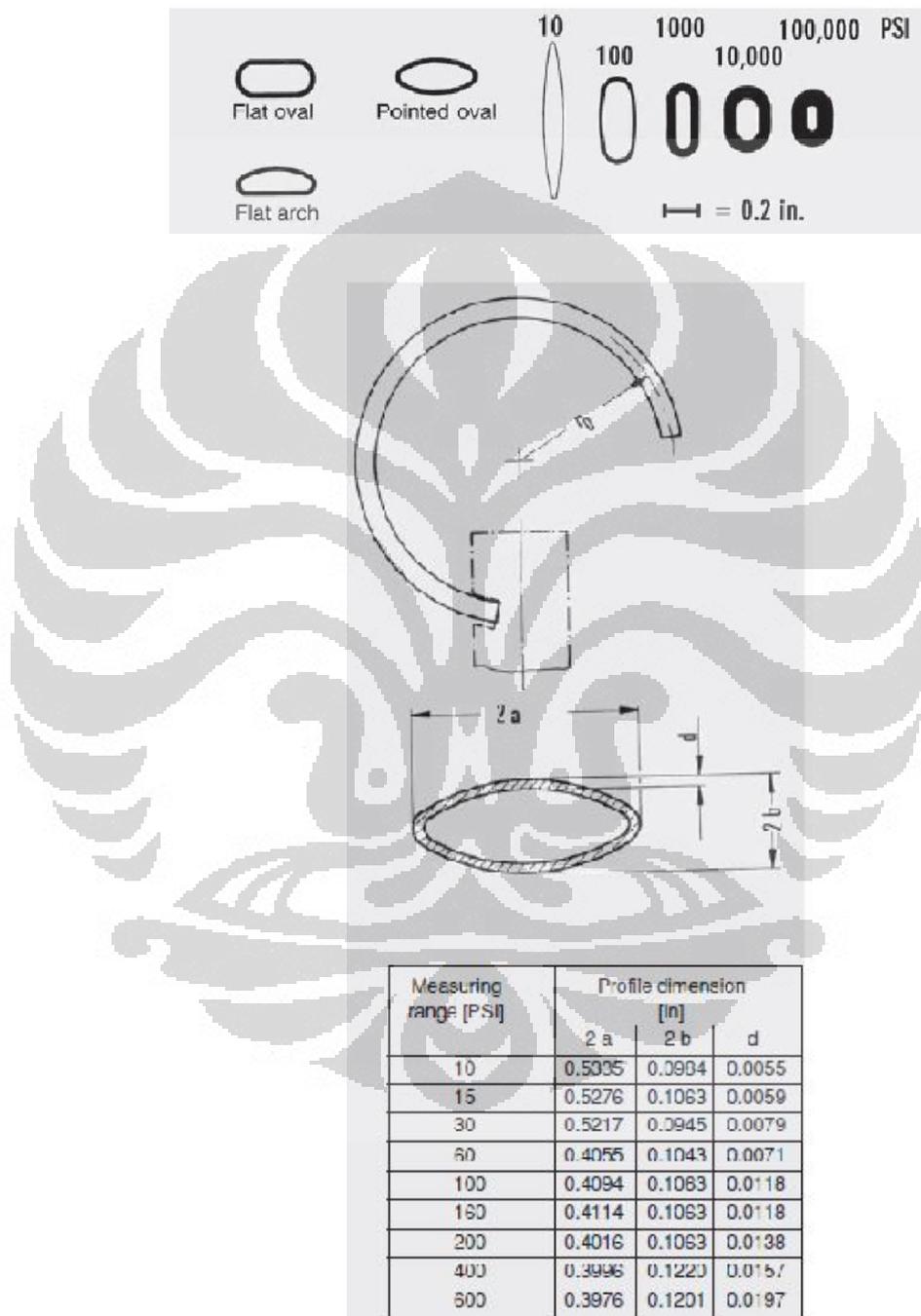
Gambar bagian tabung *Bourdon* tipe “c” ditunjukkan pada gambar di bawah :



Gambar 2.4. Bagian Tabung *Bourdon*

(Cynthia D Conway, 1995)

Pada gambar 2.5 terdapat beberapa bentuk profil penampang dari tabung *Bourdon* dan aplikasi *range* tekanan pengukurannya. Selain itu terdapat ukuran standar profile tabung *Bourdon* untuk aplikasi tekanan rendah



Gambar 2.5. Gambar penampang melintang dan contoh ukuran dari Tabung *Bourdon*

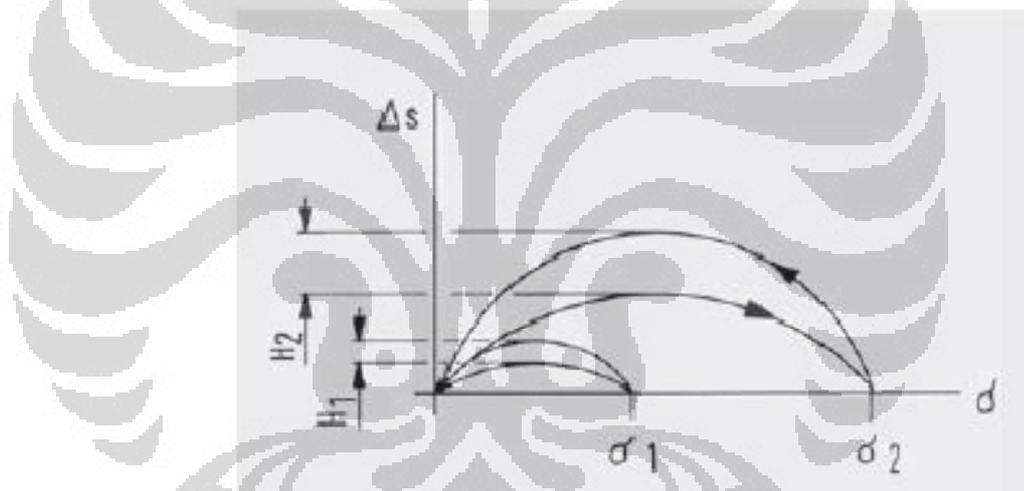
(Beckerath, 2008)

2.2.1. Sifat Histerisis Tabung *Bourdon*

Prinsip kerja tabung *Bourdon* adalah memanfaatkan sifat material yang jika diberikan pembebanan akan terjadi deformasi material. Dengan adanya sifat demikian maka akan timbul suatu karakteristik yang disebut histerisis.

Histerisis adalah suatu karakteristik dimana terjadi perbedaan pembacaan pada pointer pada tekanan yang sama saat tekanan dinaikkan dan diturunkan. Besarnya nilai histerisis ini dipengaruhi oleh besarnya beban, sifat material tabung *Bourdon*, dan kualitas dari material tabung *Bourdon* yang digunakan.

Pada gambar 2.6 menjelaskan tentang hubungan pembebanan dengan histerisis pada suatu tabung *Bourdon*



Gambar 2.6. Hubungan pembebanan dengan histerisis Tabung *Bourdon*

(Beckerath, 2008)

2.2.2. *Pressure gauge* berdasarkan Standard ASME (American Society of Mechanical Engineer)

Menurut sebuah bulletin *pressure gauge* merk *Ashcroft* dari *Dresser Instrument* Amerika ada beberapa hal yang berkaitan dengan *pressure gauge* sesuai dengan standar ASME B.40.100 yaitu :

a. Keakuratan (*accuracy*)

Untuk *pressure gauge* akurasi didefinisikan sebagai persentase dari skala *range* yang paling tinggi yang dapat terbaca, artinya persentase kedekatan nilai yang diukur terhadap nilai yang sebenarnya pada *range* skala penuh.

Untuk setiap bidang industri dibutuhkan persentase akurasi yang berbeda-beda. Di bawah ini merupakan pembagian secara umum *pressure gauge* berdasarkan nilai akurasi :

- *Pressure gauge* untuk pengetesan (*Test gauge*) dan standar memiliki tingkat akurasi 0,25 % - 0,10 % pada skala penuh
- *Pressure gauge* untuk proses yang sangat akurat (*critical Process*) memiliki tingkat akurasi 0,5 % pada skala penuh
- *Pressure gauge* untuk proses industri umum memiliki tingkat akurasi 1,0 %
- *Pressure gauge* untuk proses yang tidak terlalu akurat atau untuk penggunaan komersial memiliki tingkat akurasi 2,0 %

Standar ASME sendiri mendefinisikan terdapat 8 tingkat atau grade *pressure gauge* berdasarkan akurasinya. Akurasi ini didefinisikan sebagai persentase kesalahan yang diizinkan (persentase dari skala). Di bawah ini adalah tingkat *pressure gauge* menurut standar tersebut :

- ASME Grade 4A ; tingkat akurasi $\pm 0,1$ % dari skala dengan diameter dial 8,5 inci atau lebih
- ASME Grade 3A ; tingkat akurasi $\pm 0,25$ % dari skala dengan diameter dial 4,5 inci atau lebih
- ASME Grade 2A ; tingkat akurasi $\pm 0,5$ % dari skala dengan diameter dial 2,5 inci atau lebih
- ASME Grade 1A ; tingkat akurasi ± 1 % dari skala dengan diameter dial 1,5 inci atau lebih
- ASME Grade A ; tingkat akurasi $\pm 2-1-2$ % dari skala dengan diameter dial 1,5 inci atau lebih

- ASME Grade B ; tingkat akurasi $\pm 3-2-3$ % dari skala dengan diameter dial 1,5 inci atau lebih
- ASME Grade C ; tingkat akurasi $\pm 4-3-4$ % dari skala dengan diameter dial 1,5 inci atau lebih
- ASME Grade D ; tingkat akurasi $\pm 5-5-5$ % dari skala dengan diameter dial 1,5 inci atau lebih

b. Ukuran penunjuk tekanan (*dial size*)

Ukuran dial dari *pressure gauge* bervariasi dari diameter 1,5 – 16 inci. Ukuran ini tergantung dari kebutuhan pembacaan dan ketersediaan tempat. Selain itu tingkat akurasi juga ukuran ini

c. Tipe dan Material dari permukaan luar (*casing*) *pressure gauge*

Pertimbangan kondisi lingkungan harus menjadi acuan dalam pemilihan *pressure gauge*. Kondisi temperatur, kelembaban, kebersihan udara sekitar akan mempengaruhi pembacaan dari sebuah *pressure gauge* sehingga tersedia *pressure gauge* yang telah dikompensasi terhadap kondisi temperatur sekitar. Bahkan jika kondisi lingkungan sangat ekstrem maka tersedia jenis *pressure gauge* yang tahan cuaca dan terlindungi dari gangguan luar.

d. Media yang diukur

Media atau fluida yang diukur menentukan material dari tabung *Bourdon* pada *pressure gauge*.

e. Ukuran pipa penghubung

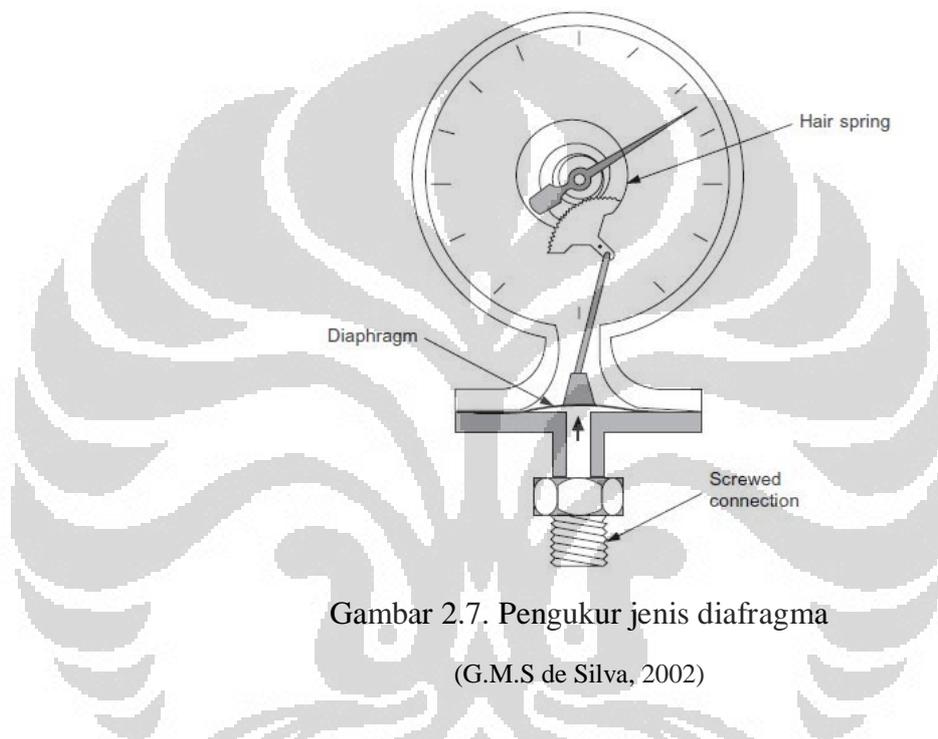
Ukuran pipa ini tersedia dalam beberapa standar yaitu NPT, DIN, JIS, BSP dan SAE. *Pressure gauge* yang memiliki diameter dial 4,5 inci biasanya mempunyai pipa penghubung 0,5 inci NPT.

f. *Range* pengukuran tekanan

Standar ini merekomendasikan bahwa tekanan operasi harus berada pada 25 % - 75 % dari skala *pressure gauge*. Jika pada proses akan terjadi fluktuasi tekanan maka tekanan operasi tidak boleh melebihi dari 50 % *range* skala penuh.

2.3. Pengukuran Tekanan dengan *Pressure gauge* tipe Diafragma

Alat ukur jenis ini banyak digunakan dalam pengukuran tekanan. Memiliki kesamaan dengan tipe *Bourdon* akan tetapi material yang berdeformasi adalah material elastis diafragma. Pergerakan diafragma akibat dari perubahan tekanan menggerakkan roda gigi yang terhubung dengan penunjuk pengukuran tekanan.



Gambar 2.7. Pengukur jenis diafragma

(G.M.S de Silva, 2002)

2.4. Pengukuran Tekanan dengan *Pressure Transducer*

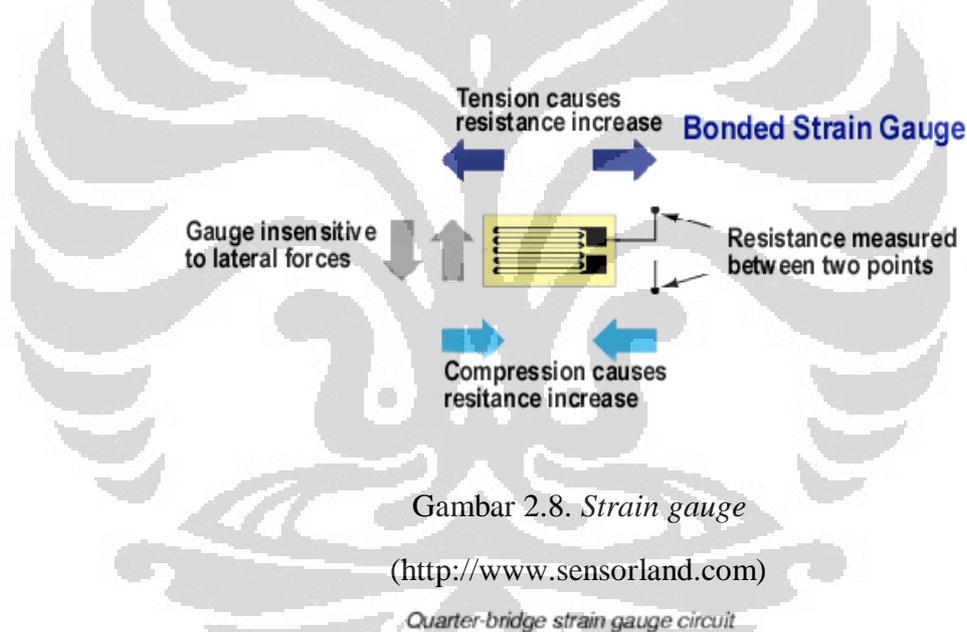
Pressure transducer adalah sebuah instrument yang dapat digunakan untuk mengukur tekanan dimana output yang terukur dirubah menjadi besaran lain seperti tegangan dan arus listrik. Pada prakteknya, arus dan tegangan yang dihasilkan dari suatu *pressure transducer* ini akan dipakai sebagai sinyal listrik yang akan digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran secara digital.

Terdapat beberapa *tipe pressure transducer* yang dipakai pada setiap aplikasinya akan tetapi yang dibahas pada skripsi ini adalah yang paling banyak digunakan yaitu jenis transducer yang berbasis rangkaian *strain gage*.

2.4.1. Prinsip Kerja *Pressure Transducer*

Prinsip kerja dari transducer berbasis *strain gage* ini adalah akibat tekanan yang diberikan oleh udara, terjadi deformasi pada diafragma diteruskan ke *strain gage* sehingga terjadi perubahan hambatan pada *strain gage* proporsional terhadap perubahan tekanan.

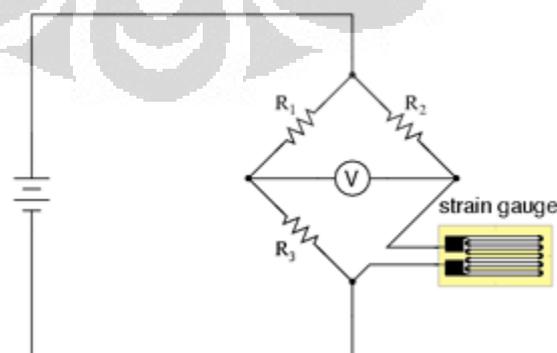
Strain gage adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan (deformasi atau strain) pada alat ini dalam bentuk foil logam yang bersifat insulatif (isolasi) yang menempel pada benda yang akan diukur tekanannya. Jika tekanan pada benda berubah, maka foilnya akan terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah. Perubahan tahanan listrik ini akan dimasukkan ke dalam rangkaian Jembatan *Wheatstone*.



Gambar 2.8. *Strain gauge*

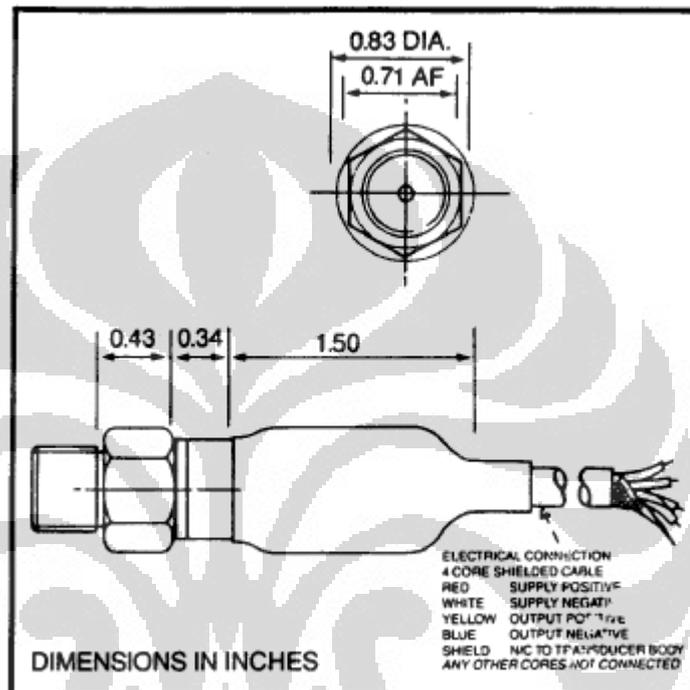
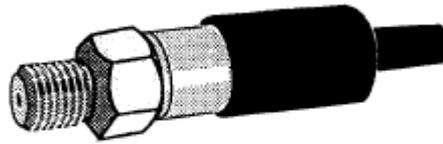
(<http://www.sensorland.com>)

Quarter-bridge strain gauge circuit



Gambar 2.9. Rangkaian strain gauge terhubung jembatan *wheatstone*

(<http://www.sensorland.com>)



Gambar 2.10. *Pressure transducer*

(Katalog *Pressure transducer* OMEGA PX 800)

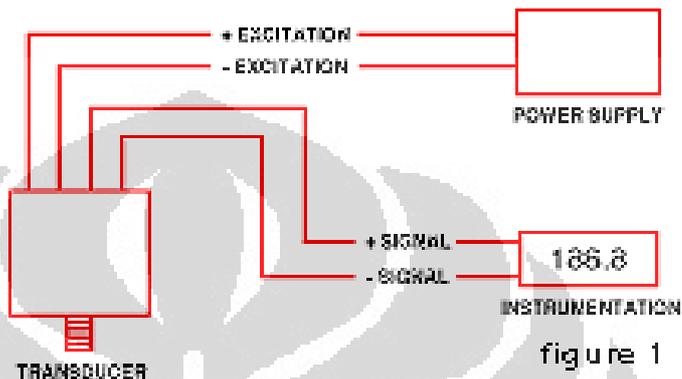
2.4.2. Jenis *Pressure transducer* dan Rangkaian Pengukuran

Berdasarkan jenis keluaran listriknya, *pressure transducer* umumnya terbagi menjadi 3 jenis, yaitu jenis keluaran milivolt, volt dan dan keluaran 4-20 mA.

Jenis *pressure transducer* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis keluaran milivolt. Transducer ini dapat mengeluarkan output pada nominal 30 mV dan keluaran ini sebanding dengan nilai catu daya atau eksitasi yang dimasukkan. Jika catu daya berubah-ubah, maka keluaran dari transducer juga akan berubah. Oleh karena nilai keluaran yang demikian rendah, maka nilai output dapat

dipengaruhi oleh medan listrik sekelilingnya yang lebih kuat. Oleh karena itu, disarankan jarak antara instrumen pengukuran dan transducer harus relatif dekat.

Berikut ini gambar skematik rangkaian pengukuran *pressure transducer* dengan keluaran milivolt.



Gambar 2.11. Rangkaian pengukuran *pressure transducer* keluaran milivolt

(Referensi teknik *Pressure transducer* OMEGA PX 800)

2.4.3. Karakteristik *Pressure transducer*

Fungsi alat ukur yang banyak digunakan di dunia industri maupun di laboratorium baik alat ukur tekanan, temperatur, gaya, dan lain-lain harus mampu mendeteksi secara akurat setiap perubahan.

Untuk memperoleh unjuk kerja optimum dari suatu alat ukur, maka karakteristik dasar setiap alat ukur tersebut harus diperhatikan. Karakteristik dasar tersebut harus dapat diekspresikan secara kuantitatif.

2.4.4. Akurasi

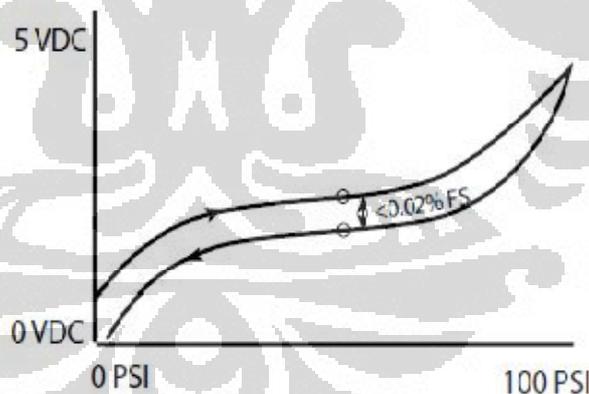
Akurasi atau disebut juga ketelitian didefinisikan sebagai beda atau kedekatan (*closeness*) antara nilai yang terbaca pada alat ukur dengan nilai sebenarnya. Dalam pengambilan data biasanya nilai sebenarnya yang tidak diketahui diganti menjadi satu nilai standar yang ditentukan secara konvensional.

Secara umum, persamaan yang paling banyak digunakan dalam mendefinisikan akurasi adalah :

$$\% \text{ akurasi} = \frac{\text{nilai terukur} - \text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai sebenarnya}} \times 100 \% \quad (2.2)$$

Secara khusus untuk *pressure transducer*, berdasarkan data teknis transducer merk Setra, akurasi merupakan sebuah nilai yang dicari dengan metode RSS (*Root Sum Square*) dari nilai histerisis, ketidaklinieran (*non- linearity*), dan *non-repeatability*. Nilai akurasi ini biasanya dinyatakan dalam % pada skala penuh (*Full Scale*) atau %FS .

Histerisis adalah nilai perbedaan maksimum pada setiap nilai output tekanan yang diberikan ke *pressure transducer* dengan pendekatan skala kenaikan dan penurunan tekanan. Nilai ini dinyatakan dalam persentase seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Histerisis pada *pressure transducer*

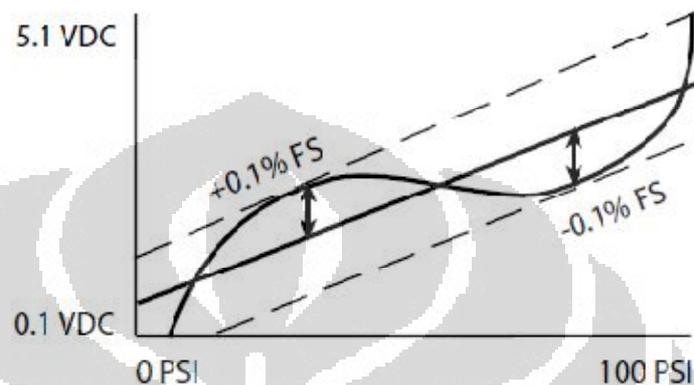
(Data teknis Pressure transducer Setra)

Ketidaklinieran (*non- linearity*) suatu *pressure transducer* adalah nilai yang menyatakan hubungan output *pressure transducer* terhadap tekanan yang diberikan yang tidak linear sehingga diperlukan linearisasi hubungan tersebut dengan salah satu metode yang dinamakan metode *Best Fit Straight Line* (BSFL). Metode BSFL menggambarkan garis

lurus yang spesifik yang menyatakan hubungan antara nilai output yang terukur dengan tekanan dari *pressure transducer*.

Best Fit Straight Line (BFSL) Method

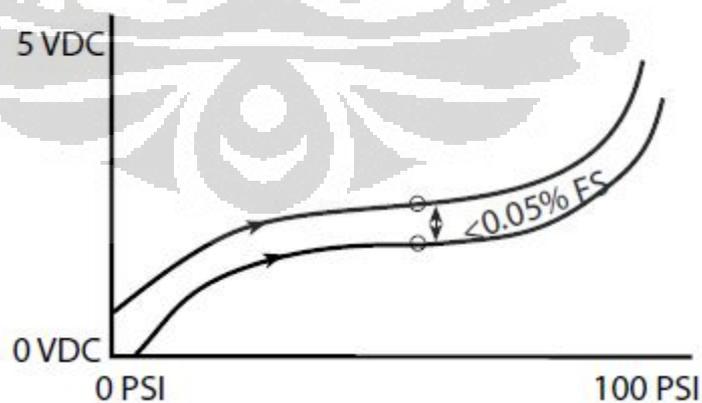
Example: $\pm 0.1\%$ FS



Gambar 2.13. Metode BSFL (*Best Fit Straight Line*)

(Data teknis Pressure transducer Setra)

Istilah terakhir yaitu *non-repeatability* adalah suatu nilai yang menunjukkan kemampuan kesamaan pembacaan nilai output *pressure transducer* jika dilakukan berulang-ulang pada kondisi yang sama.



Gambar 2.14. Nilai *non-repeatability*

(Data teknis Pressure transducer Setra)

Dengan demikian sebagai contoh jika suatu *pressure transducer* memiliki :

- Nilai histerisis : $\pm 0,1 \%$
- Nilai *non-repeatability* : $\pm 0,02 \%$
- Nilai *non-linearity* : $\pm 0,1 \%$

Nilai akurasi dinyatakan dengan persamaan metode RSS (*Root Sum Square*):

$$RSS = \sqrt{(0,1)^2 + (0,02)^2 + (0,1)^2}$$

$$RSS = 0,14 \%$$

Sehingga nilai akurasi *pressure transducer* sebesar 0,14 % FS

2.4.4.1. Presisi

Presisi atau ketepatan adalah istilah untuk menggambarkan tingkat kebebasan alat ukur dari kesalahan acak. Jika pengukuran individual dilakukan berulang-ulang maka hasil pembacaan akan tersebar diantara nilai rata-ratanya.

Persamaan matematis yang mendefinisikan presisi adalah :

$$P = 1 - \left| \frac{x_n - \bar{x}_n}{\bar{x}_n} \right| \quad (2.3)$$

dimana : x_n adalah data ke – n
 \bar{x}_n adalah nilai rata – rata

2.4.4.2. Gage repeatability dan reproducibility (R&R)

Kedua istilah ini hampir sama dengan pengertian presisi. *Repeatability* digunakan untuk menggambarkan kedekatan (*closeness*) hasil pembacaan jika dimasukkan nilai masukan yang sama secara berulang-ulang, pada kondisi dan lokasi pengukuran yang sama.

Selain itu, pengukuran dilakukan dengan alat ukur yang sama. Sedangkan *reproducibility* digunakan untuk menggambarkan kedekatan (*closeness*) hasil pembacaan suatu gage atau alat ukur jika masukan sama dan dilakukan berulang-ulang yang dilakukan oleh pengamat atau *observer* yang berbeda.

Terdapat 3 metode untuk menentukan analisa R&R suatu alat ukur atau hasil pengukuran suatu instrumen alat ukur, yaitu :

1. Analisa metode *range* (*range methode*)
2. Analisa metode *range* dan rata-rata (*average and range methode*)
3. Analisa metode nilai varians (ANOVA)

Pada laporan skripsi ini, metode yang digunakan dalam analisa data adalah analisa nilai *range* dan rata-rata (*range and average methode*).

Metode ini membutuhkan sejumlah data pengukuran yang dilakukan oleh pengamat yang berbeda dan dengan jumlah pengambilan data yang cukup. Biasanya dalam melakukan analisa ini dibantu dengan sebuah lembar data yang dapat membantu perhitungannya, yaitu :

Tabel 2.1 Tabel analisa *Repeatability dan reproducibility* (R&R)

Pengamat / Pengambilan ke	Data ke										Rata- rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A / 1											
A / 2											
A / 3											
Rata-rata											$\bar{X}_a =$
Range											$\bar{R}_a =$
B / 1											
B / 2											
B / 3											
Rata-rata											$\bar{X}_b =$
Range											$\bar{R}_b =$
C / 1											
C / 2											
C / 3											
Rata-rata											$\bar{X}_c =$
Range											$\bar{R}_c =$
$[(\bar{R}_a = \quad) + (\bar{R}_b = \quad) + (\bar{R}_c = \quad)] / \text{jumlah pengamat} =$											$\bar{\bar{R}} =$
$(\bar{X} \text{ maksimum}) - (\bar{X} \text{ minimum}) =$											$\bar{X}_{Diff} =$
<i>Range batas kontrol limit atas</i> $(UCL_R) = (\bar{\bar{R}} \times D_4)$											
<i>Range Batas kontrol limit bawah</i> $(LCL_R) = (\bar{\bar{R}} \times D_3)$											
<i>Rata – rata batas kontrol limit atas</i> $(UCL_{\bar{X}}) = (\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R})$											
<i>Rata – rata batas kontrol limit bawah</i> $(LCL_{\bar{X}}) = (\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R})$											

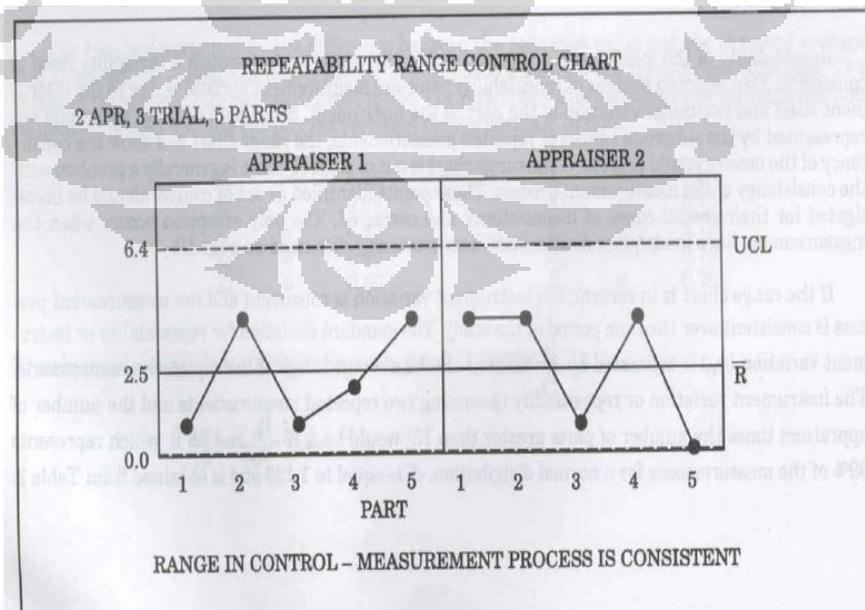
Nilai konstanta A_2 D_3 dan D_4 terdapat pada tabel tabel 2.2.

Tabel 2.2 Konstanta D_3 dan D_4

Number of Observations in Subgroup	A_2	D_3	D_4
2	1.880	0	3.267
3	1.023	0	2.575
4	0.729	0	2.282
5	0.577	0	2.115
6	0.483	0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777
11	0.285	0.256	1.744
12	0.266	0.284	1.716
13	0.249	0.308	1.692
14	0.235	0.329	1.671
15	0.223	0.348	1.652

Setiap data yang telah dianalisa dapat digambarkan melalui suatu grafik kontrol sehingga kita dapat menyimpulkan bahwa proses pengukuran yang dilakukan konsisten.

Contoh grafik kontrol R&R ini dapat dilihat pada gambar di bawah



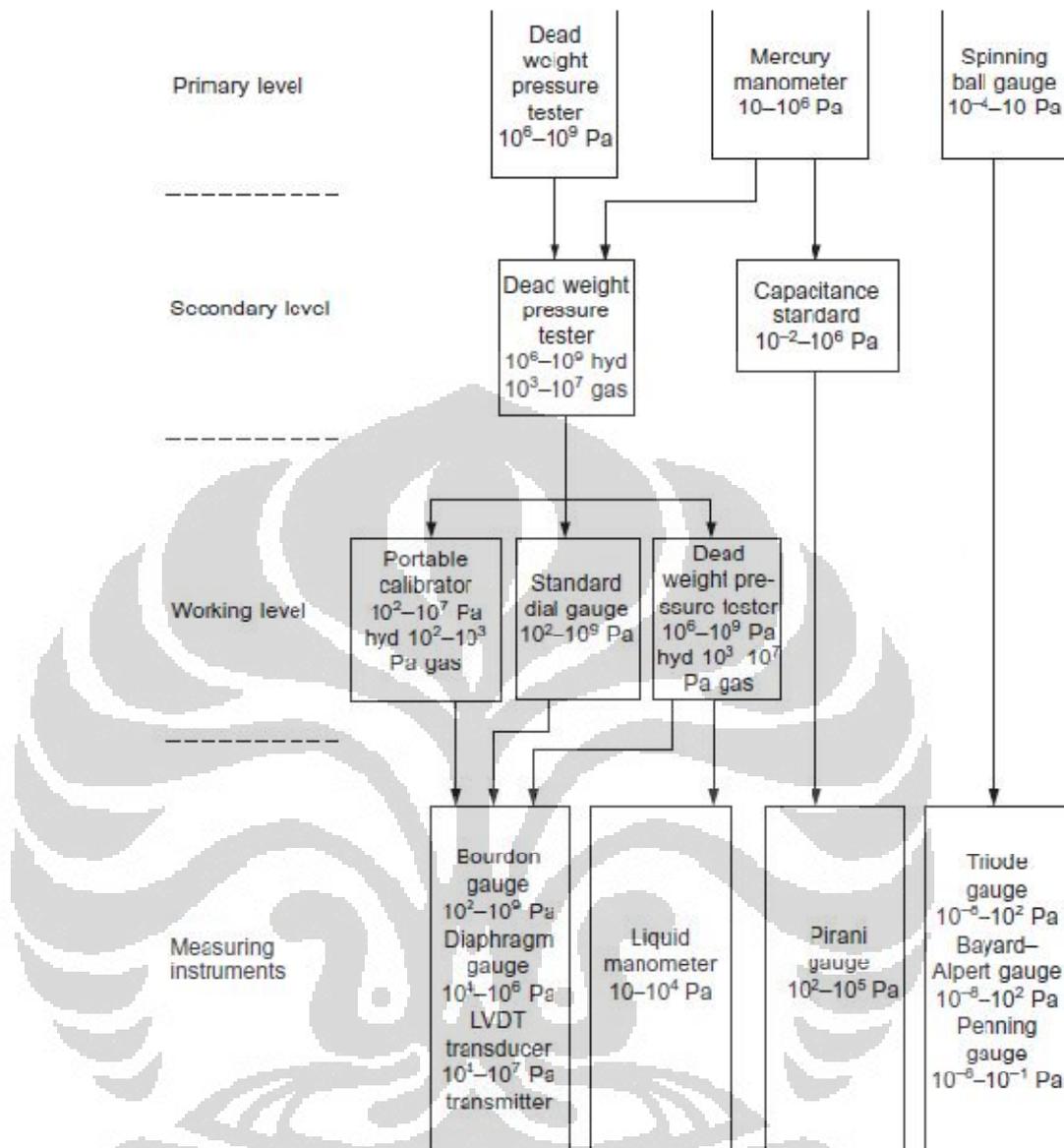
Gambar 2.15 Grafik kontrol analisa R&R

2.5 Kalibrasi Alat Ukur Tekanan

Secara umum kalibrasi adalah suatu proses menentukan dan mengatur nilai yang terukur pada suatu alat ukur sesuai dengan standar yang telah ditentukan dalam spesifikasinya. Standar *ASME B40.100* mendefinisikan secara khusus tentang kalibrasi *pressure gauge* adalah suatu proses pengaturan mekanisme dari gauge meliputi tabung *Bourdon*, dial, penggerak mekanik, pointer, dan lain-lain sehingga masih di dalam batasan nilai akurasi yang telah ditentukan.

Untuk mengetahui konsep kalibrasi suatu alat ukur tekanan maka harus diketahui tentang urutan pengukuran tekanan standar yang dijelaskan dalam buku *Basic Metrology for ISO 9000 Certification*. Urutan pengukuran tekanan standar digambarkan pada gambar 2.14.



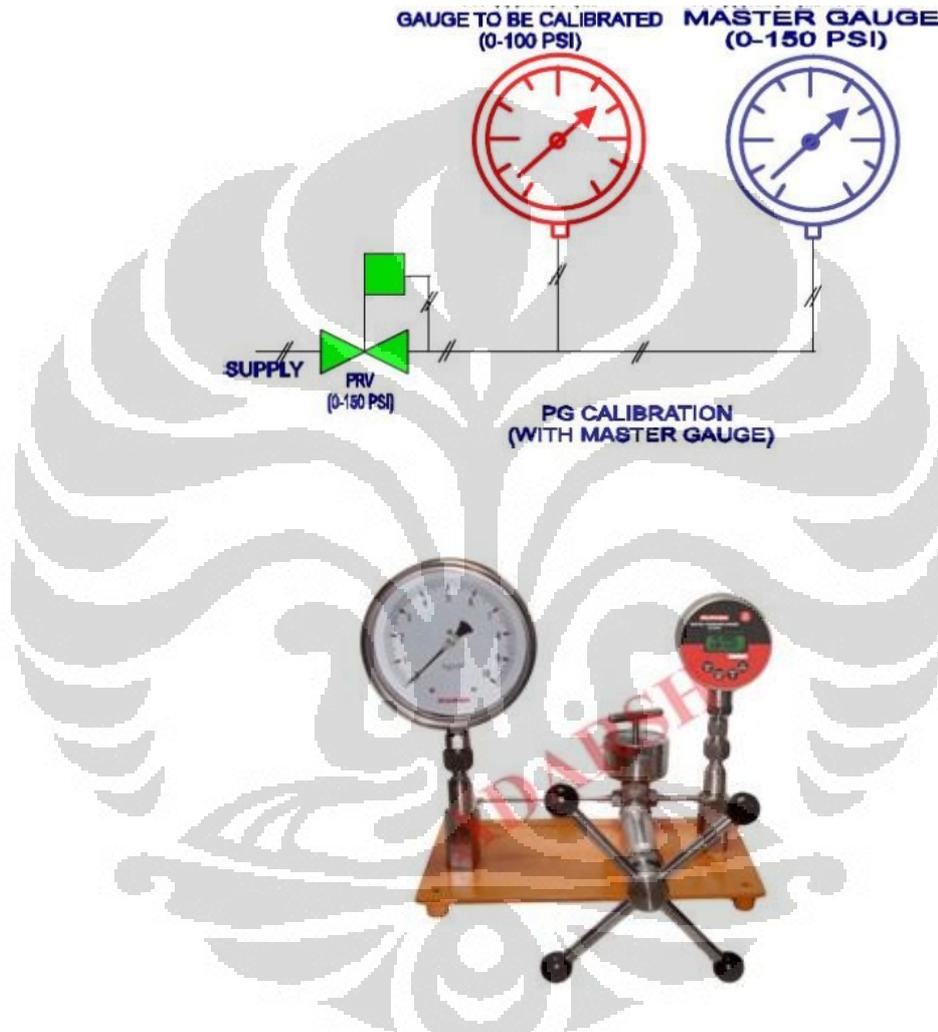


Gambar 2.16. Urutan Pengukuran Standar Tekanan

(G.M.S. de Silva, 2002)

Berdasarkan urutan di atas maka proses kalibrasi alat ukur tekanan pada level tertentu akan dilakukan oleh alat ukur tekanan standar yang berada pada level berikutnya yang lebih tinggi. Dengan demikian, jika suatu *pressure gauge* atau *pressure transducer* yang berada pada level paling bawah akan dikalibrasi maka pengkalibrasinya adalah alat ukur yang berada pada level di atasnya yaitu pengkalibrasi portabel, standar *pressure gauge*, atau *dead weight pressure tester*.

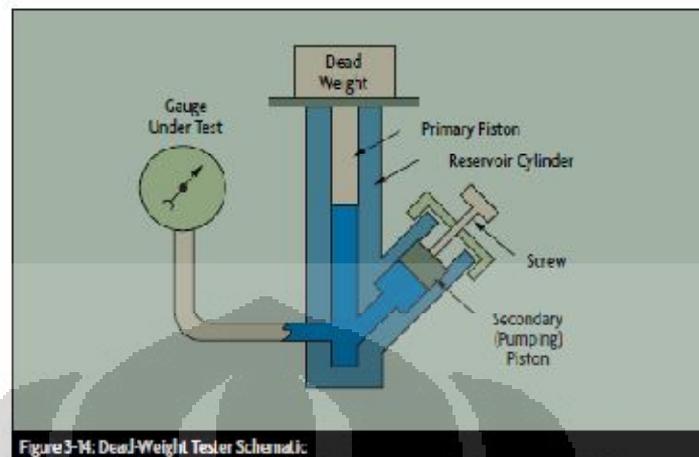
Kalibrasi *pressure gauge* atau *pressure transducer* dengan suatu standar *pressure gauge* atau disebut juga test gauge harus memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dari alat ukur yang akan dikalibrasi. Gambar 2.15 menunjukkan suatu contoh skematik dari kalibrasi *pressure gauge* dengan suatu test gauge (*master gauge* pada gambar)



Gambar 2.17. Kalibrasi *pressure gauge* dengan *test gauge*

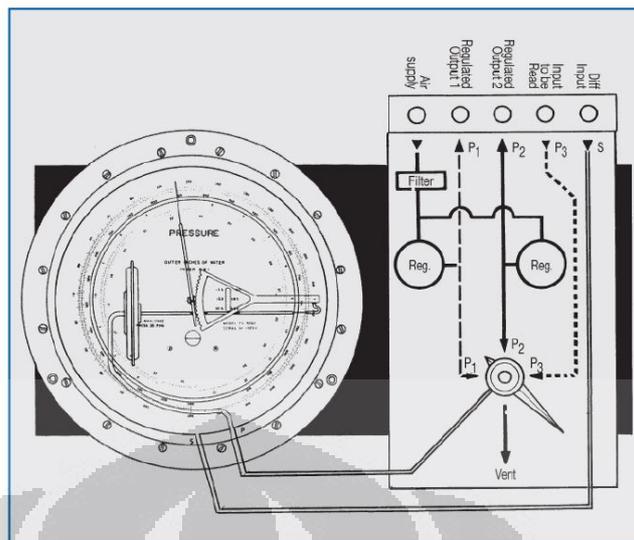
Metode kalibrasi *pressure gauge* atau *pressure transducer* lainnya yaitu dengan alat kalibrasi yang disebut *deadweight tester* (DWT). Prinsip kerja suatu DWT adalah dengan membebani suatu piston utama dengan berat tertentu sesuai dengan tekanan yang akan diukur. Dengan adanya luas penampang piston utama maka akan terjadi tekanan pada piston tersebut. Sebuah piston yang lain memompa suatu fluida ke dalam

suatu *reservoir* pada DWT sehingga terjadi keseimbangan tekanan. Gambar 2.16 di bawah adalah skematik dari DWT.



Gambar 2.18. Kalibrasi *pressure gauge* dengan *deadweight tester*
(Referensi teknik OMEGA,1998)

Metode lain untuk kalibrasi *pressure gauge* atau *pressure transducer* yaitu dengan suatu kalibrator tekanan portabel. Biasanya alat ini terdiri dari pompa tekan portabel, rangkaian *pressure transducer* dan display digital. Selain itu ada juga yang menggunakan *pressure gauge* sebagai indikator tekanan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Alat ini sangat praktis untuk digunakan di industri akan tetapi membutuhkan kalibrasi ulang yang berkesinambungan. *Range* pengukuran alat ini bisa mencapai 800 kPa dengan akurasi $\pm 0,5\%$. Selain itu pula terdapat tipe kalibrator DWT portabel tipe hidraulik hingga dapat melayani tekanan mencapai 70 MPa dan tipe pneumatik hingga dapat melayani tekanan mencapai 200 kPa.



Gambar 2.19. Kalibrator tekanan portabel
(Katalog produk WIKA)

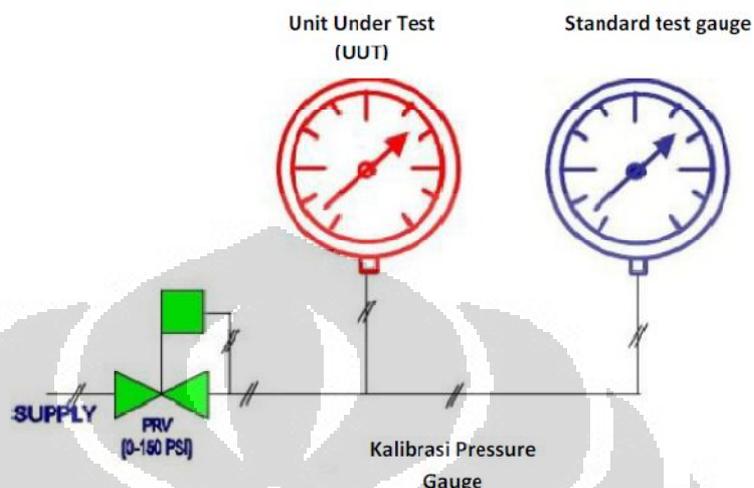
2.6 Kalibrasi Alat Ukur Tekanan Berdasarkan Standar Nasional Puslit KIM LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

Tinjauan pustaka ini merupakan hasil diskusi dan keterangan yang disampaikan oleh salah satu teknisi Puslit KIM LIPI yang merupakan salah satu pusat kalibrasi dan instrumentasi standar di Indonesia.

Konsep dasar dari kalibrasi adalah suatu perbandingan dua alat ukur dimana satu alat ukur adalah yang diketahui nilainya sedangkan alat ukur yang lainnya tidak diketahui nilainya. Lebih luas lagi kalibrasi adalah perbandingan satu alat ukur dengan alat ukur lain yang telah standar yang dinyatakan oleh suatu badan terakreditasi secara nasional sehingga nilainya dapat dipertanggungjawabkan dan dapat ditelusuri dengan baik. Hasil perbandingan alat ukur dikalibrasi dengan alat ukur standar menjadi nilai kesalahan alat ukur tersebut. Nilai kesalahan tersebut menjadi dasar apakah perlu dilakukan pengaturan ulang atau bahkan penggantian alat ukur jika sudah tidak memenuhi standar yang telah ditentukan.

Kalibrasi alat ukur tekanan dalam hal ini *pressure gauge* yang disebut *unit under test* (UUT) dilakukan dengan cara membandingkannya

dengan alat ukur tekanan lain yang standar (*standard test gage*). Skematik diagram kalibrasi *pressure gauge* adalah sebagai berikut :



Gambar 2.20. Kalibrasi *pressure gauge*

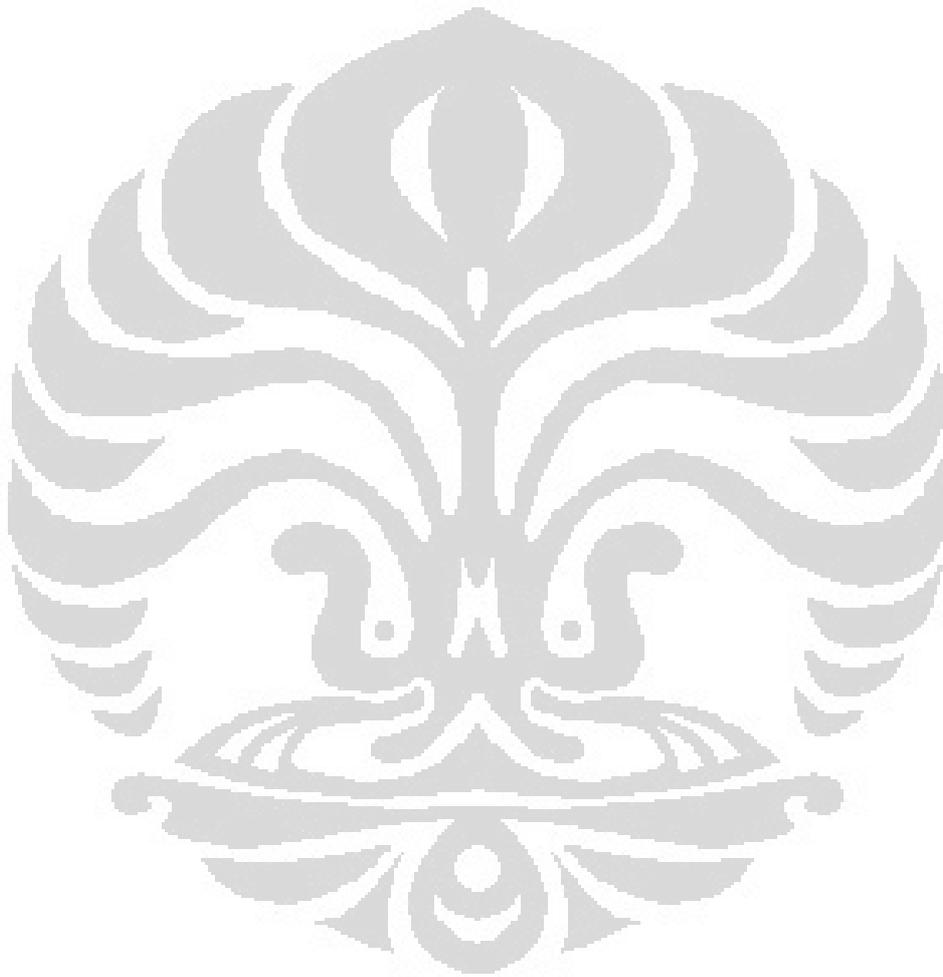
Dari gambar di atas, *unit under test* (UUT) menunjukkan *pressure gauge* yang akan dikalibrasi sedangkan *standard test gauge* adalah alat pengkalibrasinya. Standar tes gauge tidak hanya berupa *pressure gauge* standar, tetapi bisa alat ukur standar lainnya seperti DWT atau *pressure transducer* yang telah terkalibrasi.

Metode dan standar yang digunakan di Puslit KIM LIPI dalam kalibrasi alat ukur tekanan ini mengacu kepada standar Eropa EN 837 yang berisi tentang standar nilai akurasi suatu *pressure gauge* dan standar Euromet yang berisi tentang metode kalibrasinya.

Berbicara tentang *pressure gauge* yang terpasang pada PLTU 450 watt maka *pressure gauge* yang ada memiliki akurasi sebesar 1,5 % dari skala penuh dengan standar yang digunakan adalah standar Jepang. *Pressure gauge* tersebut hanya memiliki tingkat ketelitian sampai 0,5 bar sehingga jika jarum penunjuk menunjukkan nilai diantara 0-0,5 bar maka pembacaan ditentukan dengan cara perkiraan. Perkiraan ini dilakukan dengan membandingkan lebar jarum penunjuk terhadap nilai skala terkecilnya. Akan tetapi perkiraan pembacaan ini berbeda tergantung dari

kemampuan pembacaan pengamatnya. Sehingga akan mungkin terjadi kesalahan paralaks akibat pembacaan.

Jika *pressure gauge* tersebut akan divalidasi atau dengan kata lain akan dikalibrasi dengan *pressure transducer* maka disarankan agar *pressure transducer* yang digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu.



BAB 3

PERANGKAT DAN METODE PENGUKURAN

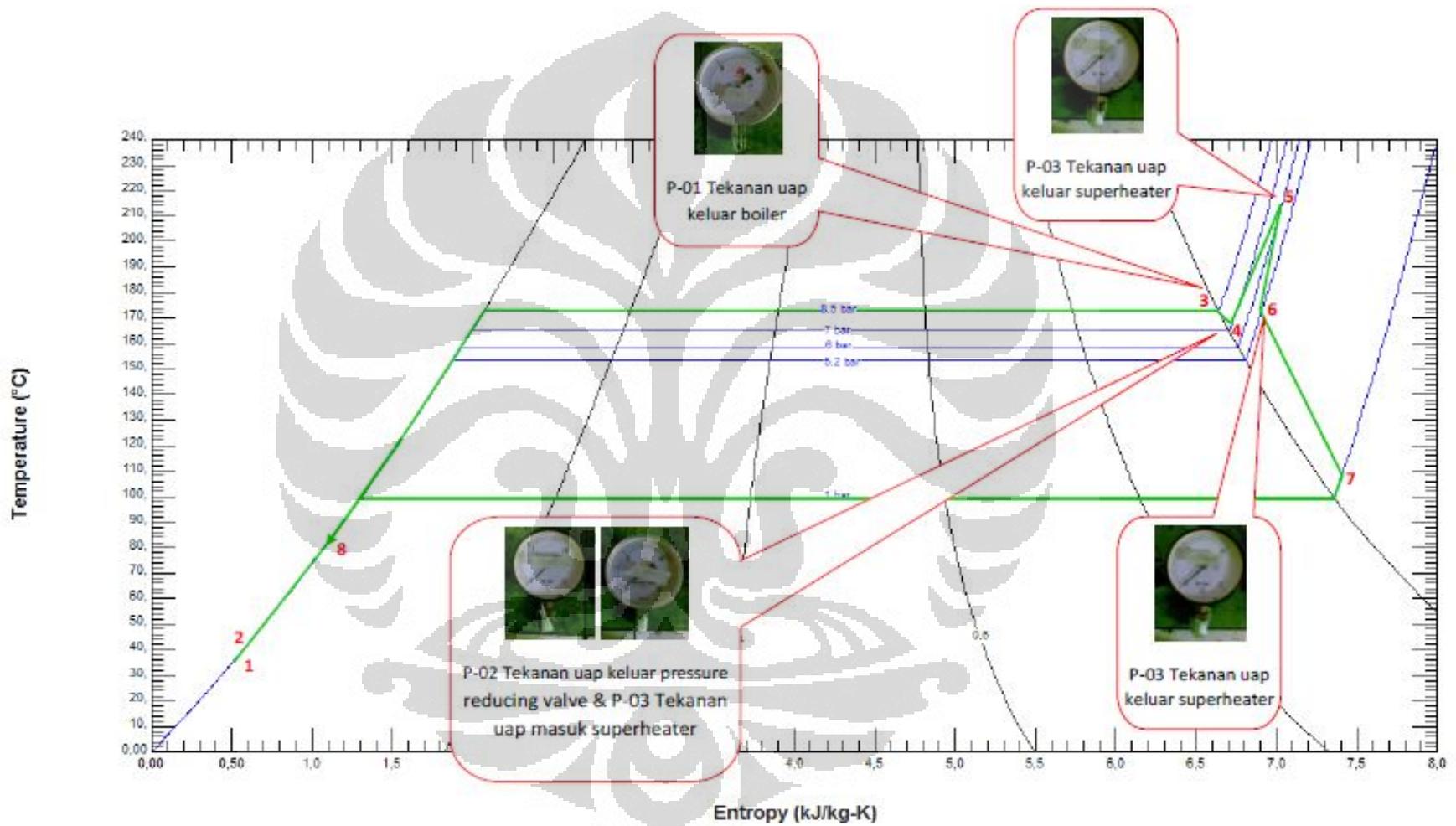
3.1 *Pressure gauge* pada Miniatur PLTU

Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) ini diproduksi oleh SNM (*Shin Nippon Machinery*) dengan TIPE 100-SCR dibuat sebagai bahan studi bagi mahasiswa untuk mempelajari PLTU. Mesin ini dilengkapi dengan alat ukur yaitu *pressure gauge* dan *termometer*. Pada skripsi ini alat ukur yang divalidasi adalah *pressure gauge* diantaranya :

No	Simbol	Parameter yang diukur	Gambar
1	P-01	Tekanan uap keluar boiler Brand : Johnson Boiler CL 1,5 Range : 0-15 Bar	
2	P-02	Tekanan uap keluar dari <i>pressure reducing valve</i> Brand : Nagano, M 1,5 Range : 0- 15 Bar	
3	P-03	Tekanan uap masuk superheater Brand : Johnson Boiler, CL 1,5 Range : 0-15 Bar	
4	P-04	Tekanan uap keluar dari superheater Brand : Nagano, M 1,5 Range : 0-15 Bar	
5	P-05	Tekanan uap masuk turbin Brand : Nagano, M 1,5 Range : 0-10 Bar	

Gambar 3.1 *Pressure gauge* pada PLTU

Posisi *Pressure gauge* pada siklus aktual *Rankine* untuk PLTU 450 watt dapat dilihat pada gambar 3.2.

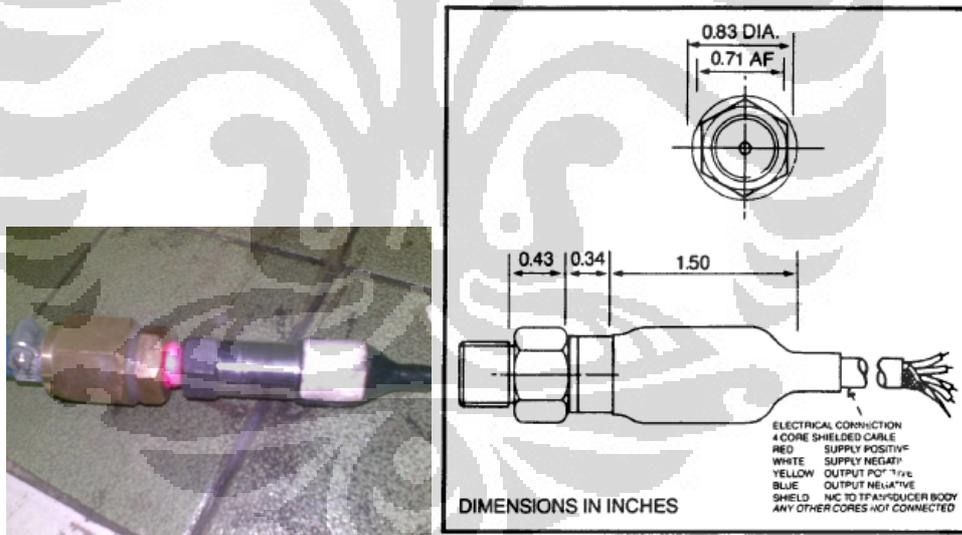


Gambar 3.2 Posisi *pressure gauge* pada siklus *Rankine* aktual PLTU

3.2. Pressure Transducer

Sebagai pembanding alat ukur *pressure gauge* maka digunakan 2 buah *pressure transducer* yang memiliki spesifikasi teknis sebagai berikut :

Merk : OMEGA
 Type : PX800-100 GV
 S/N : 448206 untuk transducer I
 448209 untuk transducer II
 Catu daya : 10 Ddc 15 mA
 Output : range 1 psi 17 mV, range 2,5 psi 25 mV, range 5 psi 50 mV, range 10 psi 100 mV dan range di atasnya
 Range tekanan : 0 - 100 psi
 Akurasi : $\pm 0,1$ % BSFL (kombinasi dengan ketidaklinieran dan histerisis)



Gambar 3.3 Pressure transducer

3.3. Untaian alat uji

Untuk melakukan pengujian *pressure transducer* dan *pressure gauge* maka digunakan beberapa komponen berikut ini :

1. Kompresor udara

Kompresor ini digunakan sebagai penghasil udara yang bertekanan. Kompresor yang dipakai adalah kompresor yang sudah terpasang di laboratorium teknik mesin Universitas Indonesia. Kompresor tersebut beroperasi pada tekanan maksimal 10 Bar dan minimal 6 Bar.

2. Pengatur tekanan udara (*air pressure regulator*)

Alat ini berfungsi sebagai pengatur tekanan udara yang bertekanan yang memiliki range sesuai dengan range pengukuran yang akan diberikan ke *pressure gauge* dan *pressure transducer* yang akan diuji yaitu 0 – 8 bar.

Pada awalnya alat ini dipakai sebagai referensi awal pengukuran dan pengujian *pressure transducer*.



Gambar 3.4 *Pressure regulator*

3. Selang udara

Selang ini dipakai sebagai saluran penghubung antara pengatur tekanan angin dan *pressure transducer* atau *pressure gauge* yang diukur



Gambar 3.5 Instalasi selang udara

4. Catu daya (*power supply*)

Pressure transducer yang diuji adalah memiliki spesifikasi tegangan input 10 VDC, maka *power supply* yang dipakai harus memiliki range output tegangan pada 10 VDC.

Power supply yang digunakan pada pengukuran ini adalah sebagai berikut :

Merk	: Farnel Instrument LTD
Type	: E30 / 2
Range Output	: 30 VDC / 1 Ampere 15 VDC / 2 Ampere



Gambar 3.6 *Power supply*

5. Alat ukur tegangan (*Voltmeter*)

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur output tegangan yang dihasilkan dari *pressure transducer*. Menurut katalog dari transducer merk OMEGA tipe PX800-100GV, output dari *pressure transducer* ini adalah milivolt jenis tegangan arus searah (DC). Dengan demikian, *voltmeter* yang dipakai harus bisa mengukur tegangan sesuai dengan range output dari *pressure transducer*.

Voltmeter yang dipakai sebagai alat ukur adalah sebagai berikut :

Merk : Fluke

Type : RMS 186

Voltmeter ini dihubungkan secara paralel dengan *pressure transducer*.

6. Alat ukur arus listrik (*amperemeter*)

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur arus listrik yang mengalir melalui *pressure transducer*. Dengan mengetahui arus listrik ini, maka akan diketahui apakah *pressure transducer* yang diuji masih berfungsi atau tidak.

Amperemeter yang dipakai sebagai alat ukur adalah sebagai berikut :

Merk : Sanwa

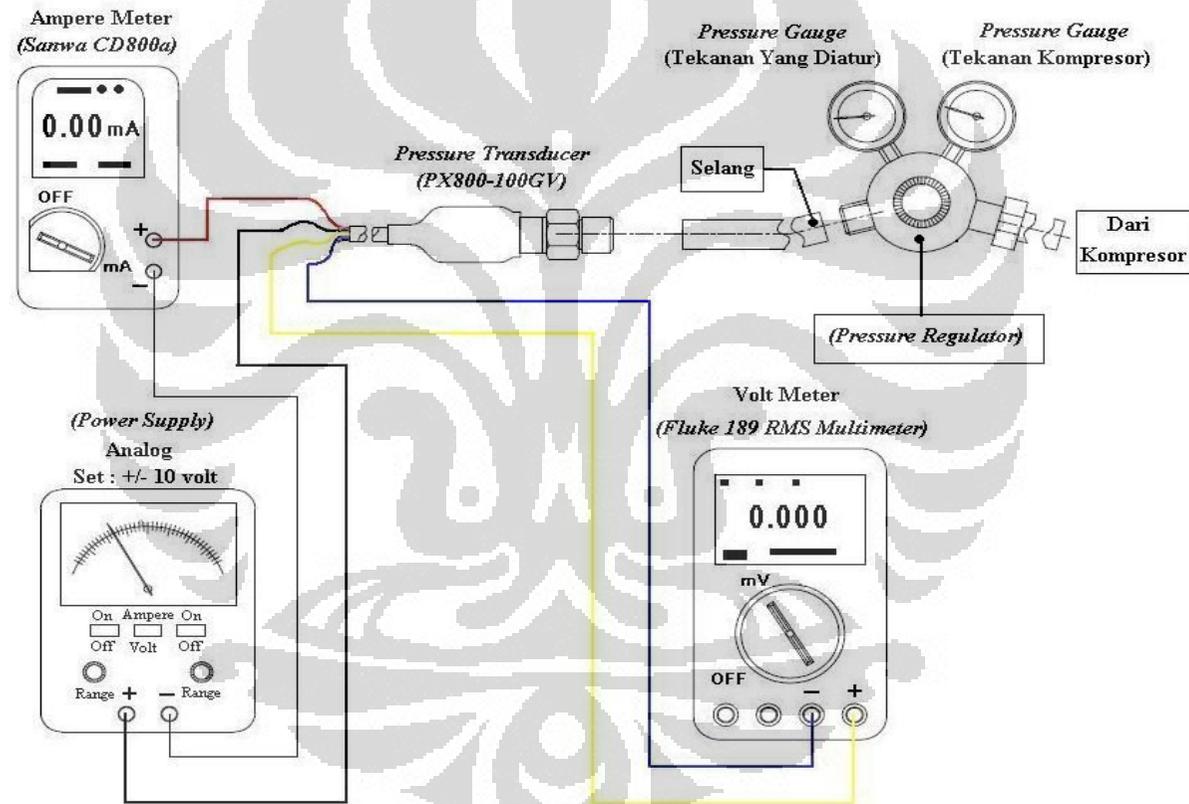
Type : CD 800 A

Amperemeter ini dihubungkan secara seri dengan *pressure transducer*.



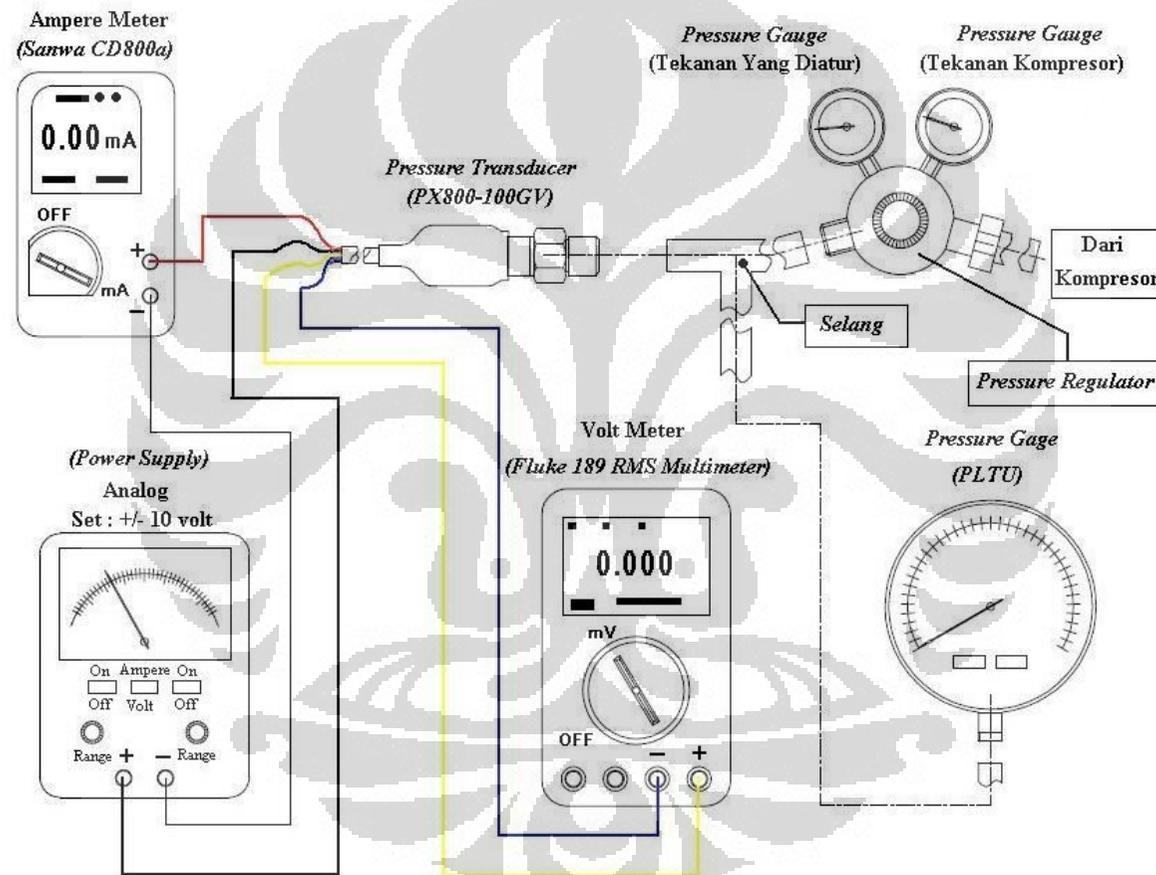
Gambar 3.7 *Voltmeter* dan *Amperemeter*

Gambar skematik dari rangkaian pengujian *pressure transducer* ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.8 Skematik rangkaian pengukuran output *pressure transducer*

Gambar skematik dari rangkaian validasi *pressure gauge* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.9 Skematik rangkaian pengukuran validasi *pressure gauge*

3.4. Prosedur Pengujian

Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian ini maka dilakukan metode dan prosedur di bawah ini :

1. Pemilihan alat dan bahan yang akan diteliti

Pressure transducer merk OMEGA type PX800-100 GV yang digunakan adalah yang sudah pernah dipakai dalam penelitian sebelumnya yang memiliki waktu pakai yang sudah cukup lama. *Pressure transducer* yang digunakan berjumlah 2 buah agar hasil pengukuran dapat dibandingkan sehingga dapat ditentukan 1 *pressure transducer* yang masih bisa dipakai. *Pressure gauge* yang terpasang pada miniatur PLTU 450 watt dipilih agar mengetahui karakteristik pengukuran pada rentang operasi kerja dari PLTU tersebut yaitu 0-8 barg.

2. Pengujian alat ukur *voltmeter*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan *voltmeter* yang akan digunakan dalam pengukuran output tegangan milivolt *pressure transducer*. Selain itu, proses ini disebut proses inisiasi alat ukur yang bertujuan untuk mempelajari karakteristik alat ukur jika alat ukur tersebut belum terhubung dengan suatu beban sehingga dapat diketahui tingkat kesalahan pembacaan alat ukur tersebut.

Alat ukur yang diuji terdiri dari 2 unit yaitu :

- a. Multimeter merk Fluke type RMS 189
- b. Multimeter merk Sanwa type CD800 A

Langkah-langkah pengujian *voltmeter* adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan kedua alat ukur tersebut di atas meja dengan posisi kabel dan probe pengukuran juga berada diatas meja dengan memastikan tidak ada gangguan pada kabel probe pengukurnya.
2. Menghidupkan kedua *voltmeter* dengan menyetel saklar pada posisi pengukuran milivolt DC.
3. Setelah displai alat ukur menunjukkan angka yang diukur, maka pencatatan dimulai. Data diambil setiap 5 menit sekali selama ½ jam

4. Melakukan analisa terhadap data yang diperoleh pada percobaan I. Jika hasil analisa belum menunjukkan hasil yang bagus maka dilakukan percobaan II dengan waktu yang lebih panjang yaitu 2 jam.
 5. Melakukan analisa data yang diambil pada percobaan II.
 6. Membuat suatu kesimpulan dari hasil percobaan I dan II.
3. Pengukuran output *pressure transducer*

Setelah menentukan alat ukur yang akan digunakan untuk proses pengukuran output *pressure transducer* maka selanjutnya proses pengukuran tersebut dapat dilakukan.

Pressure transducer yang diuji terdiri dari 2 dengan merk yang sama yaitu OMEGA tipe PX800-100 GV. *Pressure transducer* I dengan nomor seri 448206 dan *pressure transducer* II dengan nomor seri 448209.

Adapun langkah-langkah pengukuran output *pressure transducer* ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan alat uji meliputi perakitan rangkaian baik rangkaian aliran udara ataupun untuk instrumen pengukuran. Yang paling penting untuk diperhatikan yaitu penyambungan kabel transducer pada rangkaian. Kabel transducer terdiri dari 4 yang memiliki warna yang berbeda yaitu kabel warna merah untuk kabel catu daya positif, warna putih untuk catu daya negatif. Sedangkan warna kuning untuk output positif dan warna biru untuk output negatif.

Gambar skematik rangkaian terdapat pada gambar 3.7.

2. Pengetesan kebocoran pada setiap sambungan
Pada pengukuran output *pressure transducer* ini tidak diperbolehkan ada kebocoran pada setiap sambungan (*fitting*) saluran udara. Dengan adanya kebocoran maka output *pressure transducer* tidak stabil dan tidak menunjukkan hasil yang sesuai dengan yang diharapkan.
3. Penyetelan catu daya listrik pada 10 volt DC
Setelah catu daya listrik dihidupkan, maka posisi saklar jenis potensiometer penyetelan catu daya listrik diset pada setpoint 10 volt DC. Setelah diset pada 10 volt DC, maka output aktual harus diukur dengan *voltmeter*. Jika hasil pengukuran menunjukkan kurang atau

lebih dari 10 volt DC, maka dilakukan lagi penyetelan saklar potensiometer sehingga didapat hasil pada ± 10 volt Dc



Gambar 3.10 *Power supply 10 volt DC*

4. Pengukuran output *pressure transducer*

Apabila semua persiapan telah selesai maka langkah selanjutnya yaitu pengukuran output *pressure transducer* dengan melakukan pengambilan data tegangan output dari *pressure transducer*. Selain data tegangan, data arus listrik dan temperatur juga dicatat. Data temperatur ini dibutuhkan untuk mengetahui kondisi udara sekitarnya pada saat pengambilan data.

Pengambilan data dilakukan setiap 3 menit sekali dengan waktu selama 30 menit untuk setiap penyetelan tekanan dari 0-8 barg untuk kenaikan dan penurunan. Pengukuran kenaikan dan penurunan tekanan dilakukan untuk mengetahui sifat histerisis *pressure transducer* ini .

Penyetelan tekanan dilakukan di *pressure regulator* sebagai perkiraan awal tekanan yang akan diberikan pada *pressure transducer*. Untuk melakukan penyetelan tekanan pada *pressure regulator* dapat

dilakukan dengan cara memutar keran pengatur searah dengan jarum jam sehingga tekanan yang akan diset tercapai.



Gambar 3.11 Keran pengatur pada *pressure regulator*

Khusus untuk pengukuran 0 barg, maka selang tidak disambungkan ke *pressure transducer*. Dengan demikian untuk pengukuran pada 0 barg, *pressure transducer* langsung dihadapkan ke udara bebas.

Pengambilan data dilakukan 10 kali dengan metode yang sama dengan 2 pengamat yang berbeda. Lima kali untuk pengamat I dan sisanya dilakukan oleh pengamat II

4. Pengukuran output *pressure transducer* dengan alat ukur pembanding.

Eksperimen ini dilakukan untuk menguji bahwa data yang didapat pada pengukuran output *pressure transducer* pada langkah sebelumnya sudah benar. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur output *pressure transducer* tersebut adalah Multimeter Fluke tipe RMS 114. Pengambilan data dilakukan sebanyak 1 kali.



Gambar 3.12 Alat ukur *Voltmeter* pembanding (Fluke 114)

5. Penggambaran grafik hasil pengukuran *pressure transducer*

Dari data-data yang didapat dan sudah diuji dengan alat ukur pembanding maka hasil pengukuran rata-rata digambarkan dalam bentuk grafik sehingga dapat diketahui karakteristik dari *pressure transducer* ini. Karakteristik ini meliputi persamaan garis grafik, range nilai output dan standar deviasinya. Nilai ini dibutuhkan sebagai referensi untuk eksperimen berikutnya yaitu pengukuran *pressure gauge*.

6. Validasi *pressure gauge*

Eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik *pressure gauge* yang terpasang pada PLTU 450 watt. Tekanan yang diberikan pada *pressure gauge* yaitu 0-8 barg baik untuk kenaikan dan penurunan tekanan. Gambar skematik rangkaian ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.13. Rangkaian pengukuran validasi *pressure gauge*

Penyetelan tekanan yang diberikan pada *pressure gauge* dilakukan dengan mengeset nilai output dari *pressure transducer* pada setiap range tekanan. Nilai ini dapat dilihat pada display *voltmeter* yang digunakan dan nilai output didapatkan dari eksperimen pengukuran output *pressure transducer*.

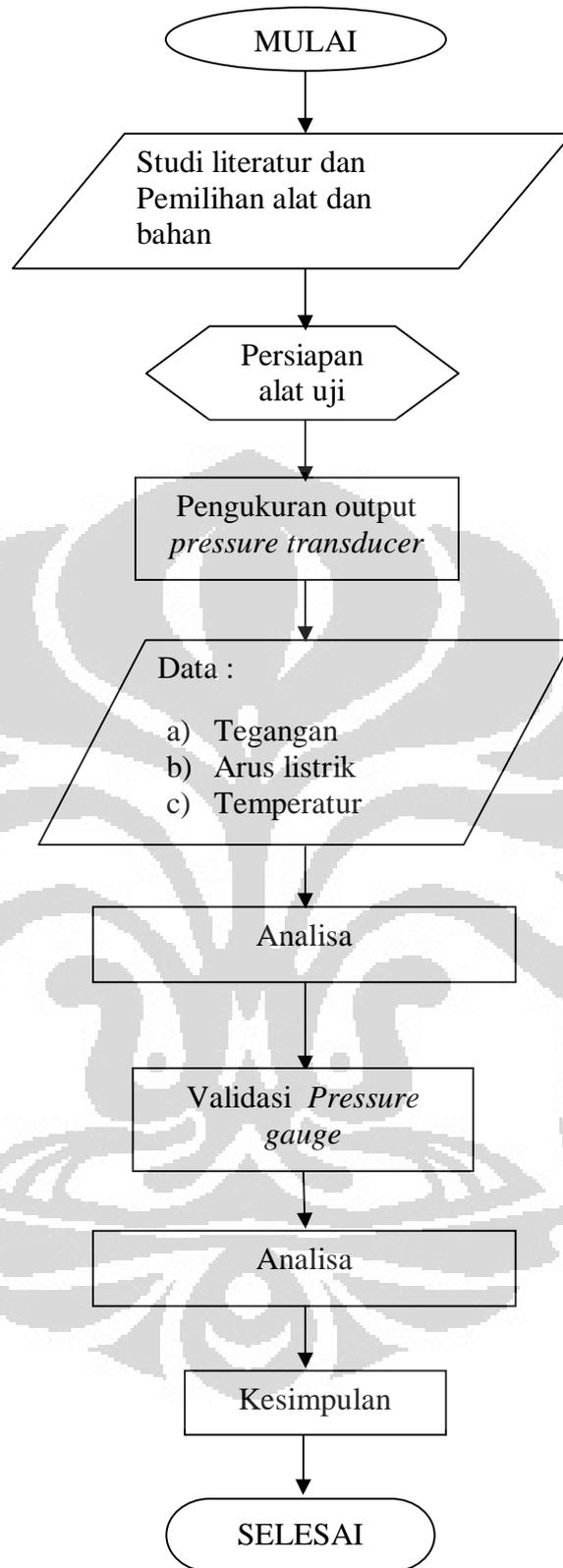
Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dan untuk setiap pengambilan data dilakukan pengukuran sebanyak 5 kali setiap 3 menit.

7. Analisa hasil validasi *pressure gauge*

Analisa meliputi analisa nilai histerisis dan nilai akurasi dari hasil pengukuran dan membandingkan dengan nilai akurasi berdasarkan spesifikasinya.

3.5. Diagram alir penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia untuk melakukan pengukuran dan pengujian karakteristik dari *pressure gauge* dan *pressure transducer* dan menganalisa hasil pengujian. Penelitian ini dilakukan sesuai diagram alir proses seperti pada gambar 3.14



Gambar 3.14. Diagram alir penelitian

BAB 4

HASIL PENGUKURAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pengambilan dan Pengumpulan Data

Seperti yang telah dijelaskan pada bab III mengenai metode pengukuran, data-data yang diambil terdiri dari :

1. Pengambilan data untuk pengujian alat ukur *voltmeter*

Proses ini disebut juga proses inisiasi alat ukur dan proses ini bertujuan untuk menentukan alat ukur milivolt meter yang akan digunakan karena setiap alat ukur mempunyai karakteristik yang berbeda. Selain itu, karena pengukuran *pressure transducer* dalam skala tegangan milivolt, maka hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh lingkungan sekitar terhadap alat ukur yang digunakan sehingga mempengaruhi tingkat kesalahan dari alat ukur.

Alat ukur yang digunakan adalah :

- a. *Voltmeter* merk Fluke type RMS True Multimeter 189
- b. *Volmeter* merk Sanwa type CD 800A

2. Pengambilan data pengukuran output *pressure transducer*

Setelah memilih alat ukur *voltmeter* yang akan digunakan maka tahap selanjutnya yaitu melakukan pengukuran *pressure transducer* yang digunakan. *Pressure transducer* yang digunakan yaitu merk OMEGA type 100 GV berjumlah 2 unit. Data ini diperlukan guna mengetahui karakteristik *transducer* tersebut. Dari 2 *pressure transducer* ini maka akan dipilih satu *transducer* yang memiliki karakteristik yang sesuai dengan sifat *transducer*.

3. Pengambilan data pengukuran output *pressure transducer* dengan alat ukur pembanding.

Data ini dibutuhkan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan *voltmeter* yang digunakan dengan alat ukur lain sehingga teruji bahwa nilai yang ditunjukkan sudah benar. Alat ukur yang dipakai bermerk sama yaitu Fluke tipe RMS 114.

4. Pengambilan data validasi *pressure gauge*

Setelah menganalisa hasil pengukuran *pressure transducer* sehingga mengetahui karakteristik instrumen transducer sebagai referensi pengukuran tekanan, maka dilanjutkan dengan validasi *pressure gauge* yang terpasang pada mesin PLTU 450 Watt.

Pengolahan dan Analisa Data

4.2.1 Pengujian Alat Ukur *Voltmeter*

Seperti telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa ada 2 alat ukur *voltmeter* yang diuji untuk kemudian akan ditentukan 1 alat ukur yang akan digunakan sebagai alat ukur tegangan output dari *pressure transducer* yaitu :

- a. *Voltmeter* merk Fluke type RMS True Multimeter 189
- b. *Volmeter* merk Sanwa type CD 800A

Dari hasil pengamatan data (data terdapat pada lampiran 1) nilai pengukuran antara *voltmeter* Fluke RMS 189 dan *voltmeter* Sanwa CD 800 A dapat diambil kesimpulan bahwa alat ukur yang akan digunakan pada pengukuran output *pressure transducer* adalah alat ukur Fluke type RMS 189. Alat ukur *voltmeter* fluke ini pada kondisi tanpa beban menunjukkan nilai yang lebih stabil pada skala pengukuran milivolt DC. Hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh alat ukur Sanwa CD 800 A tidak stabil pada nilai tertentu bahkan cenderung menunjukkan nilai yang makin negatif

4.2.2 Pengukuran Output *Pressure transducer*

Seperti yang dijelaskan pada Bab III bahwa *pressure transducer* yang diuji berjumlah 2 dengan merk yang sama yaitu OMEGA type 100 GV.

- a. *Pressure transducer* I bernomor seri S/N 448206

Pengambilan data baru dilakukan sebanyak 3 kali untuk tiap pengukuran tekanan pada 0 Bar dan 1 Bar, dan setiap kali pengambilan data, dalam rentang waktu setiap 5 menit, pengukuran output dilakukan.

Dari hasil pengambilan data (data terdapat pada lampiran 2) , output transducer belum sesuai dengan yang tertera pada spesifikasinya yaitu pada range 100 psi, output semestinya 1000 mVolt. Hasil pengukuran ke antara 0 dan 1 barg terjadi adanya penurunan, padahal semestinya terjadi kenaikan.

Dari hasil pengukuran dan pengamatan menunjukkan bahwa output transducer ini cenderung tetap untuk setiap respon kenaikan tekanan dan tidak konsistennya hasil output dari *pressure transducer* ini.

Dengan demikian *pressure transducer* bernomor seri ini sudah tidak dapat dipakai untuk pengukuran tekanan.

Ada beberapa hal yang menyebabkan *pressure transducer* ini menjadi tidak berfungsi lagi yakni :

1. *Pressure transducer* ini sudah memiliki lifetime (umur pakai) yang sudah lama
2. Pada pemakaian sebelumnya kemungkinan pernah terjadi tekanan berlebih atau tekanan tiba-tiba naik dan turun sehingga mempengaruhi diafragma dari transducer tersebut. Selain itu, hal tersebut dapat mempengaruhi karakteristik *strain gage* pada bagian dalam dari transducer ini.

b. *Pressure transducer* II bernomor seri S/N 448209

Untuk pengambilan awal tahap I dilakukan pengambilan sebanyak 4 kali dan tiap kali pengambilan data dilakukan pengukuran sebanyak 13 kali setiap 3 menit. Rentang tekanan yang diberikan adalah 0 – 6 bar gauge.

Hasil pengukuran output transducer ini terlampir pada lampiran 3.

Tabel 4.1 menunjukkan nilai rata-rata output dari *pressure transducer* tersebut :

Tabel 4.1 Hasil pengukuran output *pressure transducer* tahap I
OMEGA S/N 448209

Tekanan (barg)	Rata-rata	Deviasi standar	% Deviasi standar
0	0,028	0,024	87,61%
1	15,494	0,357	2,30%
2	28,772	1,026	3,57%
3	42,271	1,408	3,33%
4	55,603	1,690	3,04%
5	70,313	0,489	0,69%
6	83,806	0,717	0,86%

Dari hasil pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa deviasi standar dari hasil pengukuran pada 0 barg sangat tinggi yaitu 0,024 atau 87,61 % dari nilai rata-ratanya. Sedangkan untuk hasil yang lainnya, deviasi standarnya masih di bawah 5%.

Hasil pengukuran pada 0 barg menunjukkan nilai range yang tinggi, maksimal yang terukur adalah 0,060 mVolt dan minimal 0 mVolt. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kesalahan dalam pengukuran output transducer pada 0 barg lebih tinggi bila dibandingkan dengan pengukuran 1-6 barg. Pengukuran 0 barg dilakukan dengan memasang *pressure transducer* pada kondisi udara bebas, sehingga variasi tekanan udara pada 1 atmosfer tidak dapat diamati dengan pasti padahal temperatur udara pada saat tersebut relatif konstan. Hal lain yang menyebabkan adanya penyimpangan ini adalah kesalahan pengukuran akibat kabel kurang tersambung dengan baik dan kesalahan pengamatan pada alat ukur.

Untuk mengetahui konsistensi hasil pengukuran, maka dilakukan pengukuran tahap II.

Untuk tahap II, pengambilan data sebanyak 10 kali dan tiap kali pengambilan data dilakukan pengukuran sebanyak 10 kali setiap 3 menit. Pengambilan data dilakukan oleh 2 orang, dengan masing-masing 5 kali pengambilan. Pengukuran dilakukan terhadap kenaikan 0-8 barg dan penurunan dari 8-0 barg untuk mengetahui sifat histerisisnya. Data yang didapatkan berjumlah 100 data hasil

pengukuran untuk tiap tekanan pada rentang 0-8 barg. Tabel data pengukuran terdapat pada lampiran 4 s.d 5. Dari 100 data hasil pengukuran untuk tiap rentang tekanan, maka diambil nilai-ratanya untuk menentukan output *pressure transducer*. Hasil rata-rata pengukurannya ditunjukkan pada tabel 4.2 dan 4.3.

a. Kenaikkan tekanan

Tabel 4.2 Rata-rata pengukuran output *pressure transducer*
OMEGA S/N 448209 tahap II (kenaikkan tekanan)

Tekanan (barg), p	Output transducer kenaikan (mVolt), V_{naik}	Deviasi standar	% Deviasi standar
0	0,042	0,008	18,66%
1	11,267	0,181	1,61%
2	24,772	0,212	0,85%
3	38,648	0,194	0,50%
4	52,317	0,217	0,42%
5	66,129	0,396	0,60%
6	79,995	0,453	0,57%
7	93,912	0,357	0,38%
8	107,830	0,227	0,21%

b. Penurunan tekanan

Tabel 4.3 Rata-rata pengukuran output *pressure transducer*
OMEGA S/N 448209 tahap II (penurunan tekanan)

Tekanan (barg)	Output Transducer penurunan (mVolt)	Deviasi standar	% Deviasi standar
0	0,042	0,008	18,66%
1	10,998	0,189	1,72%
2	24,421	0,197	0,81%
3	38,338	0,317	0,83%
4	51,993	0,327	0,63%
5	65,922	0,323	0,49%
6	79,995	0,453	0,57%
7	93,931	0,550	0,59%
8	107,830	0,227	0,21%

Dari hasil pengukuran dua tahap, yaitu antara tahap I dan tahap II di atas terlihat adanya perbedaan nilai output pada tekanan terutama pada 1 barg dan seterusnya hingga 6 barg.

Perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.4 Perbedaan rata-rata output *pressure transducer* OMEGA S/N 448209 tahap I dan II

Tekanan (barg)	1	2	3	4	5	6
Output Transducer Tahap I (mvolt)	15,494	28,772	42,271	55,603	70,313	83,806
Output Transducer Tahap II (mvolt)	11,267	24,772	38,648	52,317	66,129	79,995
Selisih	4,227	4,000	3,623	3,285	4,184	3,811

Rata-rata selisih perbedaan hasil pengukuran sebesar 3,855 milivolt untuk setiap pengukuran tekanan. Untuk menguji kembali adanya perbedaan hasil pengukuran tersebut maka dilakukan metode pengukuran dengan alat ukur pembanding seperti yang dijelaskan pada bab III mengenai metode pengukuran output *pressure transducer* dengan alat ukur pembanding. Pengambilan data dilakukan sebanyak 1 kali.

Alat ukur yang digunakan sebagai pembanding adalah Fluke dengan tipe RMS 114 dengan ketelitian pembacaan hanya sampai 1 digit dibelakang koma. Data lengkap hasil pengukuran terdapat pada lampiran 6. Adapun hasil perbandingan pengukurannya adalah ditunjukkan pada tabel 4.5 yaitu :

Tabel 4.5 Perbandingan pengukuran output *pressure transducer* dengan Fluke RMS 189 dan Fluke 114

Tekanan (barg)		1	2	3	4	5	6
Output Transducer Tahap I (mvolt)		15,494	28,772	42,271	55,603	70,313	83,806
Output Transducer Tahap II (mvolt)		11,267	24,772	38,648	52,317	66,129	79,995
Output Transducer Pembeding (mvolt)	Kenaikkan tekanan	11,1	24,7	38,5	52,4	66,2	80,1
	Penurunan tekanan	11,0	24,2	38,1	52,0	66,0	80,1

Dari tabel 4.5 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh alat ukur pembeding, baik kenaikkan ataupun penurunan tekanan memiliki hasil yang tidak berbeda dengan pengukuran tahap II, walaupun masih ada selisih pada 3 angka dibelakang koma yaitu rata-rata selisih 0,132 mVolt pada data kenaikkan tekanan dibandingkan dengan data tahap I. Selisih ini sangat kecil bila dibandingkan dengan data tahap I yang mencapai 3,855 mVolt.

Dengan hasil pengukuran alat ukur pembeding maka dapat disimpulkan bahwa nilai output dari *pressure transducer* nomor seri 448209 yang dapat diterima sebagai nilai output yang menunjukkan karakteristiknya adalah hasil data pada pengukuran tahap II. Data tahap II ini ditunjukkan pada tabel 4.6 yaitu :

Tabel 4.6 Hasil rata-rata output *pressure transducer* OMEGA S/N 448209 tahap II

Tekanan (barg), p	Output kenaikan (mVolt), V_{naik}	Deviasi standar	% Deviasi standar	Output penurunan (mVolt), V_{turun}	Deviasi standar	% Deviasi standar	% Histerisis
0	0,042	0,008	18,66%	0,042	0,008	18,66%	0,00%
1	11,267	0,181	1,61%	10,998	0,189	1,72%	0,25%
2	24,772	0,212	0,85%	24,421	0,197	0,81%	0,33%
3	38,648	0,194	0,50%	38,338	0,317	0,83%	0,29%
4	52,317	0,217	0,42%	51,993	0,327	0,63%	0,30%
5	66,129	0,396	0,60%	65,922	0,323	0,49%	0,19%
6	79,995	0,453	0,57%	79,947	0,297	0,37%	0,04%
7	93,912	0,357	0,38%	93,931	0,550	0,59%	0,02%
8	107,830	0,227	0,21%	107,830	0,227	0,21%	0,00%

Jika dilihat pada tabel 4.6 terdapat nilai persentase histerisis dari *pressure transducer* ini. Nilai persentase ini dihitung berdasarkan persamaan

$$\% \text{ histerisis} = \frac{|V_{naik} - V_{turun}|}{V_{\text{pada skala maksimal}}} \times 100\%$$

Sebagai contoh untuk perhitungan nilai persentase histerisis pengukuran output *pressure transducer* pada 1 barg yaitu :

$$\% \text{ histerisis} = \frac{|11,267 - 10,998|}{107,830} \times 100\% = 0,25\%$$

Dengan cara yang sama maka didapat nilai persentase histerisis untuk data tekanan yang lainnya.

Dari nilai-nilai yang telah dihitung dapat diketahui bahwa output *pressure transducer* ini hanya memiliki nilai histerisis maksimal sebesar 0,33 % pada tekanan input 2 barg. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik output pada skala kenaikan tekanan dan penurunan tekanan masih kecil atau dengan kata lain kesalahan akibat sifat histerisis *pressure transducer* ini masih kecil.

Untuk mengetahui sifat kelinieran output transducer terhadap tekanan inputnya maka digunakan metode *least square best fit straight line*. Metode ini merupakan salah satu metode dalam analisa penggambaran kurva (*curve fitting*) suatu hubungan antara dua variabel yaitu variabel bebas yaitu tekanan input dan variabel terikat yaitu output *pressure transducer*. Hubungan pada metode ini digambarkan sebagai persamaan garis regresi linear. Data tekanan yang digunakan untuk analisa sifat kelinieran output *pressure transducer* ini adalah data untuk kenaikan tekanan sedangkan data untuk penurunan tidak dianalisa karena memiliki nilai histerisis yang masih kecil seperti yang dibahas pada bagian sebelumnya.

Persamaan umum persamaan garis regresi linear dinyatakan dengan :

$$y = a + bx$$

Dimana :

y = perkiraan nilai variabel terikat atau output *pressure transducer*

a = titik potong antara garis regresi pada sumbu y atau intersep

b = gradien garis regresi (perubahan nilai y per satuan perubahan x atau dalam hal ini dapat dinyatakan milivolt / barg) atau disebut juga *slope*

x = nilai variabel bebas atau tekanan input pada *pressure transducer*

Tabel 4.7 menunjukkan tabulasi perhitungan untuk menentukan nilai a dan b dalam persamaan garis regresi linear :

Tabel 4.7 Tabel perhitungan regresi linear

Tekanan (barg), x	Output Pressure transducer (mVolt), y	xy	x^2
0	0,042	0,000	0,000
1	11,267	11,267	1,000
2	24,772	49,544	4,000
3	38,648	115,943	9,000
4	52,317	209,269	16,000
5	66,129	330,645	25,000
6	79,995	479,971	36,000
7	93,912	657,385	49,000
8	107,830	862,636	64,000
36	475	2717	204
Rata-rata (\bar{x})	4	Rata-rata (\bar{y})	53

Nilai b ditentukan dengan persamaan :

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

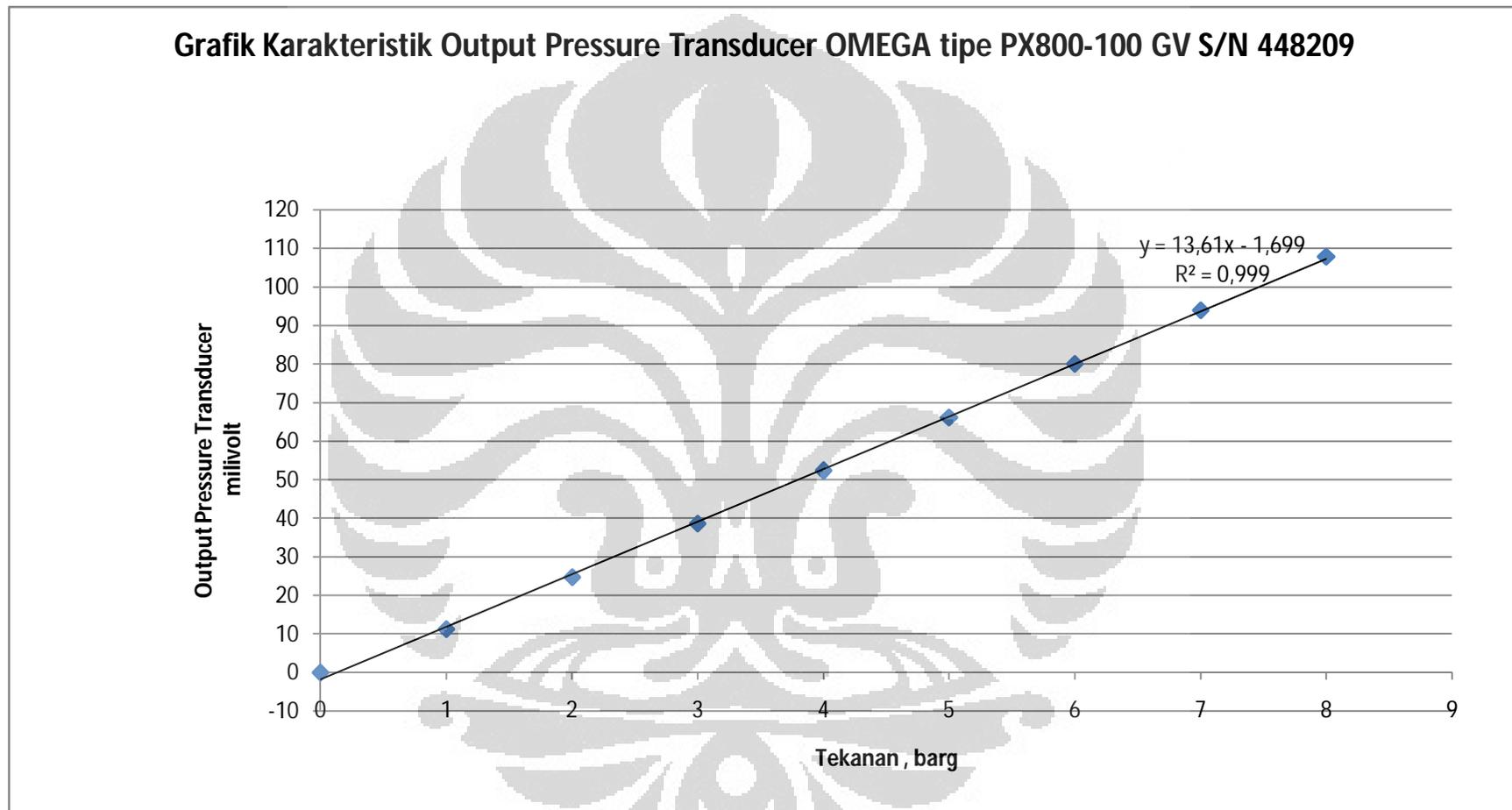
$$b = \frac{9(2717) - (36)(475)}{9(204) - (36)^2} = 13,616$$

Sedangkan nilai a ditentukan dengan persamaan :

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$a = 53 - (13,616)(4) = -1,699$$

Grafik hubungan antara tekanan dan output *pressure transducer* ini digambarkan pada gambar 4.1 yakni :



Grafik 4.1 Grafik karakteristik output *pressure transducer* OMEGA tipe PX800-100 GV S/N 448209

Jika dilihat dari grafik 4.1 maka hasil plot grafik antara tekanan dan output *pressure transducer* adalah linear dengan persamaan garis :

$$y = 13,61x - 1,699$$

$$R^2 = 0,999$$

Dengan nilai gradien garis regresi sebesar 13,61 milivolt / barg atau disebut juga *slope*. Dengan demikian, output *pressure transducer* ini memiliki rata-rata peningkatan atau penurunan terhadap tekanan inputnya sebesar 13,61 milivolt / barg. Adapun nilai -1,699 merupakan nilai intersep atau dalam istilah *pressure transducer* adalah *zero offset*. Dengan demikian persamaan ini dapat menentukan nilai tekanan yang terukur oleh *pressure transducer* tersebut dengan memenuhi persamaan :

$$x = \frac{1}{13,61} (y + 1,699)$$

Jika dilihat pada persamaan garis hasil regresi linear, nilai R^2 atau koefisien determinasi menunjukkan nilai yang hampir mendekati nilai 1. Hal ini dapat diartikan bahwa hubungan antara tekanan input dan output *pressure transducer* adalah hampir linear sempurna. Hubungan linear sempurna memiliki nilai $R^2 = 1$.

Untuk menentukan nilai persentase kesalahan (*error*) dari ketidaklinieran output *pressure transducer* ini maka dilakukan perhitungan output akibat proses linearisasi melalui persamaan garis yang telah dihasilkan atau disebut V_{teoritis} . Hasil perhitungan output tekanan akibat proses linearisasi tersebut kemudian dibandingkan dengan output *pressure transducer* aktual hasil pengukuran atau V_{aktual} . Sebagai contoh untuk tekanan input 0 barg yaitu :

1. Output *pressure transducer* berdasarkan persamaan regresi, V_{teoritis} :

$$y = 13,61x - 1,699$$

Dimana $x = 0$ barg, maka

$$y = (13,61)(0) - 1,699 = -1,699 \text{ milivolt}$$

2. Output *pressure transducer* aktual, V_{aktual} pengukuran yaitu 0,042 milivolt

Dengan demikian kesalahan akibat ketidaklinieran (*non-linearity*) ditentukan dengan persamaan :

$$\% \text{ non linearity} = \frac{[V_{\text{teoritis}} - V_{\text{aktual}}]}{V_{\text{pada skala maksimal}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ non linearity} = \frac{[-1,699 - 0,042]}{107,83} \times 100\%$$

$$\% \text{ non linearity} = 1,61 \%$$

Dengan cara yang sama untuk data tekanan lainnya akan didapat % non linearity.

Tabel 4.8 Persentase kesalahan *non-linearity* output *pressure transducer* OMEGA S/N 448209

Tekanan (barg), p	Output Transducer aktual (mVolt), V_{aktual}	Output Transducer teoritis (mVolt), V_{teoritis}	% <i>non-linearity</i>
0	0,042	-1,699	1,61%
1	11,267	11,911	0,60%
2	24,772	25,521	0,69%
3	38,648	39,131	0,45%
4	52,317	52,741	0,39%
5	66,129	66,351	0,21%
6	79,995	79,961	0,03%
7	93,912	93,571	0,32%
8	107,830	107,181	0,60%

Dari hasil perhitungan nilai kesalahan akibat *non-linearity* yang terdapat pada tabel 4.8 di atas maka nilai kesalahan yang paling tinggi yaitu pada output 0 barg yaitu mencapai 1,61 %.

Untuk menentukan nilai persentase kesalahan akibat *non-repeatability* maka dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Menghitung nilai rata-rata output setiap pengambilan data untuk rentang tekanan 0-8 barg
2. Menghitung persentase kesalahan akibat *non-repeatability* dengan persamaan :

% *non – repeatability*

$$= \frac{[V_{output\ ke-n} - V_{output\ ke-n+1}]}{V_{pada\ skala\ maksimal}} \times 100\%$$

Sebagai contoh untuk perhitungan 1 barg pada hasil pengukuran pengamatan ke-1 dan ke-2.

V_{output} pada pengamatan ke-1 yaitu 11,574 milivolt

V_{output} pada pengamatan ke-2 yaitu 11,423 milivolt

V_{output} maksimal pada pengamatan ke-1 yaitu 107,837 milivolt

Maka persentase *non-repeatability* :

$$\begin{aligned} \% \text{ non – repeatability} &= \frac{[11,574 - 11,423]}{107,837} \times 100\% \\ &= 0,14 \% \end{aligned}$$

Untuk data yang lainnya terdapat pada lampiran 8.

Dari hasil perhitungan % *non-repeatability* terdapat pada lampiran 35 dapat dilihat bahwa untuk setiap rentang tekanan input maka kesalahan akibat non repeatability berbeda-beda. Persentase maksimal yaitu pada output *pressure transducer* 8 barg yaitu mencapai 0,73 %.

Dari perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan maka didapatkan nilai persentase kesalahan histerisis, *non-linearity*, dan *non repeatability* maksimal untuk output *pressure transducer* OMEGA PX800-100GV S/N 448209, yaitu sebagai berikut :

1. Kesalahan akibat histerisis : 0,33 %
2. Kesalahan akibat *non-linearity* : 1,61 %
3. Kesalahan akibat *non repeatability* : 0,73 %

Dengan demikian maka nilai akurasi yang dinyatakan dengan nilai RSS (*Root Sum Square*) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 RSS &= \sqrt{0,33^2 + 1,61^2 + 0,73^2} \\
 &= 1,79\% \text{ pada skala penuh}
 \end{aligned}$$

Nilai akurasi ini merupakan nilai yang paling rendah karena mengambil hasil perhitungan persentase kesalahan yang paling tertinggi.

4.3. Analisa *Gage Repeatability dan Reproducibility* (RR)

Seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa data hasil pengukuran output *pressure transducer* OMEGA tipe PX800-100 GV yang diterima adalah hasil data pengukuran tahap II. Data-data yang didapat pada tahap II ini dianalisa RR untuk mengetahui konsistensi hasil pengukuran yang telah didapat. Tujuan analisa ini adalah untuk mengetahui bahwa nilai yang diukur oleh *pressure transducer* memiliki konsistensi pembacaan sehingga *pressure transducer* ini dapat digunakan sebagai alternatif pengukuran tekanan pada PLTU 450 watt ini atau sebagai referensi bagi alat ukur *pressure gauge* analog yang terpasang pada PLTU.

Analisa RR yang digunakan adalah analisa nilai range dan rata-rata (*range dan average method*). Data yang dianalisa adalah data output *pressure transducer* yang diukur untuk kenaikan tekanan. Untuk penurunan tekanan tidak dianalisa R&R karena hasil perhitungan nilai histerisisnya kecil sehingga diasumsikan nilainya sama.

Untuk mempermudah analisa R&R, maka setiap data output *pressure transducer* untuk tiap input tekanan ditabulasikan dengan bantuan tabel dan tabulasi data analisa R&R disertai grafik kontrolnya

terdapat pada lampiran 7. Dari gambar grafik kontrol nilai range dapat dilihat bahwa hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh *pressure transducer* memiliki nilai range yang masih diantara batas atas (UCL_R) dan batas bawah (LCL_R). Demikian halnya dengan hasil rata-ratanya yang masih berada diantara nilai batas kontrol untuk nilai rata-ratanya (UCL_X dan LCL_X). Dengan demikian proses pengukuran pada tekanan 1 barg masih konsisten.`

Dari hasil analisa R&R ini, untuk data tekanan 0 barg, 3 barg, 4-6 barg, menunjukkan hasil pengukuran yang konsisten sama halnya dengan data hasil pengukuran pada 1 barg. Data yang terdapat penyimpangan terdapat pada hasil pengukuran untuk tekanan input 2 barg.

Dari hasil penggambaran grafik analisa nilai range dan rata-rata di atas dapat dilihat bahwa terjadi penyimpangan dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh pengamat I pada data ke 6 hasil pengukuran pada pengambilan II. Hal ini terjadi pada hasil data pengukuran tekanan input *pressure transducer* menunjukkan nilai paling tinggi dari semua nilai yang terukur yaitu hampir mencapai 26 milivolt atau sekitar 25,992 milivolt sedangkan minimal yang terukur adalah 24,605 milivolt. Dengan demikian terjadi nilai range yang paling tinggi yaitu mencapai 1,387 milivolt. Begitu pula dengan nilai rata-ratanya karena nilai yang terukur pada saat data ke 6 tersebut paling tinggi diantara hasil pengukuran yang lainnya. Ada beberapa hal yang kemungkinan menjadi penyebab adanya penyimpangan data tersebut diantaranya :

1. Adanya gangguan pada kabel hubungan output *pressure transducer*
2. Terjadinya fluktuasi tegangan dari catu daya yang tidak dapat terdeteksi
3. Adanya pengaruh medan listrik pada saat pengambilan data yang tidak terdeteksi
4. Adanya kesalahan pada saat pencatatan data

Walaupun hasil pada pengukuran output *pressure transducer* ini memiliki penyimpangan namun terjadi hanya satu data saja dari 100 data yang diambil sehingga hanya 1 % dari keseluruhan data sehingga masih

dapat disimpulkan bahwa pengukuran pada tekanan 2 barg masih konsisten.

4.4. Validasi *Pressure gauge*

Setelah mendapatkan nilai range output tiap tekanan pada *pressure transducer* dan mendapatkan persamaan karakteristiknya maka dilakukan proses validasi *pressure gauge*. Proses validasi dilakukan dengan cara mengeset output milivolt yang ditunjukkan oleh alat ukur *voltmeter* sesuai dengan nilai range output dari *pressure transducer* sebagai nilai referensi untuk tiap rentang tekanan. Setelah mendapatkan nilai range output tersebut maka tekanan yang terukur pada *pressure gauge* dicatat dan disebut sebagai tekanan referensi.

Data validasi untuk tiap *pressure gauge* adalah sebagai berikut :

1. P-01 (*Pressure gauge* untuk tekanan uap keluar dari boiler)

Tabel 4.9 Data Validasi *Pressure gauge* P-01

Tekanan Referensi (barg)	Tekanan <i>pressure</i> pada <i>pressure gauge</i> (Kenaikkan)	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (Penurunan)	% Histerisis
0	0,17	0,17	0,00%
1	0,90	0,90	0,00%
2	1,80	1,83	0,43%
3	2,80	2,80	0,00%
4	3,80	3,80	0,00%
5	4,80	4,80	0,00%
6	5,77	5,70	0,87%
7	6,70	6,70	0,00%
8	7,70	7,70	0,00%

Nilai tekanan referensi pada tabel di atas ditentukan dari hasil konversi dari output *pressure transducer* yang diset sesuai dengan tekanan pada rentang 0-8 barg.

Data tekanan pada *pressure gauge* adalah hasil rata-rata dari 3 kali pengukuran.

Dari data di atas terlihat bahwa untuk setiap nilai tekanan referensi yang diberikan maka hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh *pressure gauge* yang divalidasi menunjukkan nilai yang berbeda. Sebagai contoh pada saat tekanan referensi 0 barg maka tekanan yang terukur pada *pressure gauge* adalah 0,17 barg. Demikian pula pada tekanan referensi selanjutnya terjadi perbedaan pembacaan.

Dari perhitungan nilai histerisisnya didapat bahwa nilai histerisis ini maksimal hanya 0,87 % pada tekanan 6 barg selanjutnya 0,43% untuk tekanan 2 barg. Untuk rentang pengukuran tekanan yang lain menunjukkan bahwa hasil pengukuran pada kenaikan dan penurunan tidak berbeda. Dengan demikian sifat histerisis dari *pressure gauge* tabung Bourdon P-01 ini masih di bawah 2 %. Akan tetapi pembacaan nilai tekanan pada dial *pressure gauge* sangat dipengaruhi oleh ketelitian mata pengamat sehingga akan sangat mungkin terjadi kesalahan paralaks.

Untuk mengetahui persentase kesalahan (*error*) atau dalam istilah lain sebagai akurasi maka dapat dicari dengan persamaan yang didapat dari pendekatan metode kalibrasi *pressure gauge* yang dilakukan oleh *United States Department of Interior, USBR 1040-89* (terdapat pada lampiran 9) yaitu sebagai berikut ini :

$$\% \text{ Akurasi} = \frac{[(P_{ref} - P_{gauge})]}{P_{\text{pada skala maksimal}}}$$

Akurasi yang dihitung berdasarkan definisi dari standard ASME B40.100 bahwa akurasi merupakan nilai kesalahan yang diizinkan pada skala maksimal.

Hasil perhitungan dari nilai akurasi untuk P-01 ini dapat dilihat pada tabel 4.10 yakni:

Tabel 4.10 Akurasi *Pressure gauge* P-01

P-01 (Spesifikasi Akurasi $\pm 1,5\%$)						
Tekanan Referensi (barg), P_{ref}	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (P_{gauge})			% Kesalahan (<i>error</i>) = $(P_{ref} - P_{gauge}) \times 100\% / P_{skala\ maksimal}$		
	Percobaan ke-			Percobaan ke-		
	1	2	3	1	2	3
0	0,10	0,20	0,20	1,25%	2,50%	2,50%
1	0,90	0,90	0,90	1,25%	1,25%	1,25%
2	1,80	1,80	1,80	2,50%	2,50%	2,50%
3	2,80	2,80	2,80	2,50%	2,50%	2,50%
4	3,80	3,80	3,80	2,50%	2,50%	2,50%
5	4,80	4,80	4,80	2,50%	2,50%	2,50%
6	5,70	5,80	5,80	3,75%	2,50%	2,50%
7	6,70	6,70	6,70	3,75%	3,75%	3,75%
8	7,70	7,70	7,70	3,75%	3,75%	3,75%

Dari perhitungan di atas maka nilai akurasi yang dihitung sangat rendah jika dibandingkan dengan spesifikasi awal yaitu $\pm 1,5\%$. Nilai akurasi dari *pressure gauge* P-01 yang masih dalam batas toleransi hanya pada tekanan pengukuran 1 bar yaitu 1,25% sedangkan untuk nilai akurasi pada tekanan lainnya lebih rendah dari 1,5% bahkan mencapai 3,75%.

Dari nilai histerisis dan akurasi tersebut maka *pressure gauge* P-01 sudah tidak sesuai dengan spesifikasinya dan disarankan harus dikalibrasi ulang atau jika perlu diganti untuk pengukuran tekanan pada PLTU 450 watt. Akan tetapi jika masih akan digunakan sebagai pengukuran tekanan maka hasil pengukuran mengacu pada nilai akurasi dan pembacaan sesuai dengan hasil validasi pada tabel 4.10.

2. P-02 (*Pressure gauge* untuk tekanan uap keluar dari *pressure reducing valve*)

Data hasil validasi *pressure gauge* dapat dilihat pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Data Validasi *Pressure gauge* P-02

tekanan Referensi (barg)	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (Kenaikkan)	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (Penurunan)	% Histerisis
0	0,00	0,00	0,00%
1	0,70	0,67	0,44%
2	1,70	1,60	1,32%
3	2,70	2,67	0,44%
4	3,70	3,60	1,32%
5	4,70	4,60	1,32%
6	5,67	5,60	0,88%
7	6,70	6,63	0,88%
8	7,60	7,60	0,00%

Sedangkan hasil perhitungan nilai akurasinya dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 4.12 Akurasi *Pressure gauge* P-02

P-02 (Spesifikasi Akurasi $\pm 1,5\%$)						
Tekanan Referensi (barg), P_{ref}	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (P_{gauge})			% Kesalahan (<i>error</i>) = $(P_{ref} - P_{gauge}) \times 100\% / P_{skala\ maksimal}$		
	Percobaan ke-			Percobaan ke-		
	1	2	3	1	2	3
0	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
1	0,70	0,70	0,70	3,75%	3,75%	3,75%
2	1,70	1,70	1,70	3,75%	3,75%	3,75%
3	2,70	2,70	2,70	3,75%	3,75%	3,75%
4	3,70	3,70	3,70	3,75%	3,75%	3,75%
5	4,70	4,70	4,70	3,75%	3,75%	3,75%
6	5,70	5,60	5,70	3,75%	5,00%	3,75%
7	6,70	6,70	6,70	3,75%	3,75%	3,75%
8	7,60	7,60	7,60	5,00%	5,00%	5,00%

Dari perhitungan nilai histerisis menunjukkan bahwa nilainya masih kecil yaitu masih di bawah 2 %, minimal 0 % dan maksimal hanya 1,34 %. Akan tetapi dari perhitungan nilai akurasinya menunjukkan nilai yang sangat rendah dan mencapai 5 % pada tekanan 8 barg padahal tekanan ini merupakan tekanan kerja dari suatu PLTU. Sehingga nilainya sangat jauh jika dibandingkan dengan spesifikasi akurasinya yaitu $\pm 1,5\%$.

Dari nilai histerisis dan akurasi tersebut maka *pressure gauge* P-02 sudah tidak sesuai dengan spesifikasinya dan disarankan harus dikalibrasi ulang atau diganti untuk pengukuran tekanan pada PLTU 450 watt. Akan tetapi jika masih akan digunakan sebagai pengukuran tekanan maka hasil pengukuran mengacu pada nilai akurasi dan pembacaan sesuai dengan hasil validasi pada tabel 4.11.

3. P-03 (*Pressure gauge* untuk tekanan uap masuk superheater

Data hasil validasi *pressure gauge* dapat dilihat pada tabel 4.13 yaitu :

Tabel 4.13 Data Validasi *Pressure gauge* P-03

Tekanan Referensi (barg)	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (Kenaikkan)	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (Penurunan)	% Histerisis
0	0,60	0,60	0,00%
1	1,30	1,30	0,00%
2	2,20	2,30	1,25%
3	3,20	3,27	0,83%
4	4,20	4,27	0,83%
5	5,20	5,20	0,00%
6	6,20	6,20	0,00%
7	7,00	7,10	1,25%
8	8,00	8,00	0,00%

Tabel 4.14 Akurasi *Pressure gauge* P-03

P-03 (Spesifikasi Akurasi $\pm 1,5\%$)						
Tekanan Referensi (barg), P_{ref}	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (P_{aktual})			% Kesalahan (<i>error</i>) = $(P_{ref} - P_{aktual}) \times 100\% / P_{skala\ maksimal}$		
	Percobaan ke-			Percobaan ke-		
	1	2	3	1	2	3
0	0,60	0,60	0,60	7,50%	7,50%	7,50%
1	1,30	1,30	1,30	3,75%	3,75%	3,75%
2	2,20	2,20	2,20	2,50%	2,50%	2,50%
3	3,20	3,20	3,20	2,50%	2,50%	2,50%
4	4,20	4,20	4,20	2,50%	2,50%	2,50%
5	5,20	5,20	5,20	2,50%	2,50%	2,50%
6	6,20	6,20	6,20	2,50%	2,50%	2,50%
7	7,00	7,00	7,00	0,00%	0,00%	0,00%
8	8,00	8,00	8,00	0,00%	0,00%	0,00%

Dari perhitungan nilai histerisis menunjukkan bahwa nilainya masih kecil yaitu masih di bawah 2 %, minimal 0 % dan maksimal hanya 1,25 %. Akan tetapi dari perhitungan nilai akurasi menunjukkan nilai yang rendah untuk tekanan 0-6 barg yaitu dari - 7,5 % sampai 2,5 %. Akan tetapi *pressure gauge* P-03 ini memiliki nilai akurasi yang tinggi yaitu pada 7 dan 8 barg yaitu 0 % dan ini merupakan tekanan kerja dari PLTU tersebut.

Dari nilai histerisis dan akurasi tersebut maka *pressure gauge* P-03 sudah tidak sesuai dengan spesifikasinya dan disarankan harus dikalibrasi ulang atau diganti untuk pengukuran tekanan pada PLTU 450 watt. Akan tetapi jika masih akan digunakan sebagai pengukuran tekanan maka hasil pengukuran mengacu pada nilai akurasi dan pembacaan sesuai dengan tabel.

4. P-04 (*Pressure gauge* untuk tekanan uap keluar superheater)

Data hasil validasi *pressure gauge* dapat dilihat pada tabel 4.15 yaitu :

Tabel 4.15 Data Validasi *Pressure gauge* P-04

Tekanan Referensi (barg)	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (Kenaikkan)	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (Penurunan)	% Histerisis
0	0,00	0,00	0,00%
1	0,77	0,80	0,43%
2	1,73	1,73	0,00%
3	2,77	2,73	0,43%
4	3,77	3,70	0,87%
5	4,77	4,70	0,87%
6	5,70	5,73	0,43%
7	6,73	6,73	0,00%
8	7,70	7,70	0,00%

Tabel 4.16 Akurasi *Pressure gauge* P-04

P-04 (Spesifikasi Akurasi $\pm 1,5\%$)						
Tekanan Referensi (barg), P_{ref}	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (P_{aktual})			% Kesalahan (<i>error</i>) = $(P_{ref} - P_{aktual}) \times 100\% / P_{skala\ maksimal}$		
	Percobaan ke-			Percobaan ke-		
	1	2	3	1	2	3
0	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
1	0,80	0,70	0,80	2,50%	3,75%	2,50%
2	1,70	1,80	1,70	3,75%	2,50%	3,75%
3	2,70	2,80	2,80	3,75%	2,50%	2,50%
4	3,70	3,80	3,80	3,75%	2,50%	2,50%
5	4,70	4,80	4,80	3,75%	2,50%	2,50%
6	5,70	5,70	5,70	3,75%	3,75%	3,75%
7	6,70	6,80	6,70	3,75%	2,50%	3,75%
8	7,70	7,70	7,70	3,75%	3,75%	3,75%

Dari perhitungan nilai histerisis menunjukkan bahwa nilainya masih kecil yaitu masih di bawah 1 %, minimal 0 % dan maksimal hanya 0,87 %. Akan tetapi dari perhitungan nilai akurasi menunjukkan nilai yang sangat rendah yaitu dari 2,5 % hingga 3,75 % jika dibandingkan dengan spesifikasi akurasi *pressure gauge* P-04 ini.

Dari nilai histerisis dan akurasi tersebut maka *pressure gauge* P-04 sudah tidak sesuai dengan spesifikasinya dan disarankan harus dikalibrasi ulang atau diganti untuk pengukuran tekanan pada PLTU 450 watt. Akan tetapi jika masih akan digunakan sebagai pengukuran tekanan maka hasil pengukuran mengacu pada nilai akurasi dan pembacaan sesuai dengan tabel.

5. P-05 (*Pressure gauge* untuk tekanan uap masuk turbin)

Data hasil validasi *pressure gauge* dapat dilihat pada tabel 4.17 yaitu :

Tabel 4.17 Data Validasi *Pressure gauge* P-05

Tekanan Referensi (barg)	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (Kenaikkan)	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (Penurunan)	% Histerisis
0	0,00	0,00	0,00%
1	0,80	0,80	0,00%
2	1,80	1,80	0,00%
3	2,80	2,80	0,00%
4	3,80	3,80	0,00%
5	4,80	4,80	0,00%
6	5,70	5,80	1,30%
7	6,80	6,77	0,43%
8	7,70	7,70	0,00%

Tabel 4.18 Akurasi *Pressure gauge* P-05

P-05 (Spesifikasi Akurasi $\pm 1,5\%$)						
Tekanan Referensi (barg), P_{ref}	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (P_{aktual})			% Kesalahan (<i>error</i>) = $(P_{ref} - P_{aktual}) \times 100\% / P_{skala\ maksimal}$		
	Percobaan ke-			Percobaan ke-		
	1	2	3	1	2	3
0	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
1	0,80	0,80	0,80	2,50%	2,50%	2,50%
2	1,80	1,80	1,80	2,50%	2,50%	2,50%
3	2,80	2,80	2,80	2,50%	2,50%	2,50%
4	3,80	3,80	3,80	2,50%	2,50%	2,50%
5	4,80	4,80	4,80	2,50%	2,50%	2,50%
6	5,70	5,70	5,70	3,75%	3,75%	3,75%
7	6,80	6,80	6,80	2,50%	2,50%	2,50%
8	7,70	7,70	7,70	3,75%	3,75%	3,75%

Dari perhitungan nilai histerisis menunjukkan bahwa nilainya masih kecil yaitu masih di bawah 2 %, minimal 0 % dan maksimal hanya 1,30 %. Akan tetapi dari perhitungan nilai akurasi menunjukkan nilai yang sangat rendah yaitu dari 2,5 % hingga 3,75 % jika dibandingkan dengan spesifikasi akurasi *pressure gauge* P-05 ini.

Dari nilai histerisis dan akurasi tersebut maka *pressure gauge* P-05 sudah tidak sesuai dengan spesifikasinya dan disarankan harus dikalibrasi ulang atau diganti untuk pengukuran tekanan pada PLTU 450 watt. Akan tetapi jika masih akan digunakan sebagai pengukuran tekanan maka hasil pengukuran mengacu pada nilai akurasi dan pembacaan sesuai dengan tabel.

Dari hasil analisa nilai histerisis dan nilai akurasi dari setiap *pressure gauge* P-01 sampai P-05 dapat dilihat bahwa semua *pressure gauge* yang divalidasi memiliki nilai akurasi yang telah berubah yaitu menjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan spesifikasi awal *pressure gauge* tersebut yaitu $\pm 1,5 \%$.

Oleh karena itu diperlukan proses kalibrasi ulang terhadap *pressure gauge* tersebut atau jika diperlukan diganti untuk dapat digunakan sebagai alat ukur tekanan pada PLTU 450 Watt.

Jika dari semua percobaan diambil rata-ratanya dan dihitung persentase nilai akurasinya maka dapat dilihat pada tabel 4.19

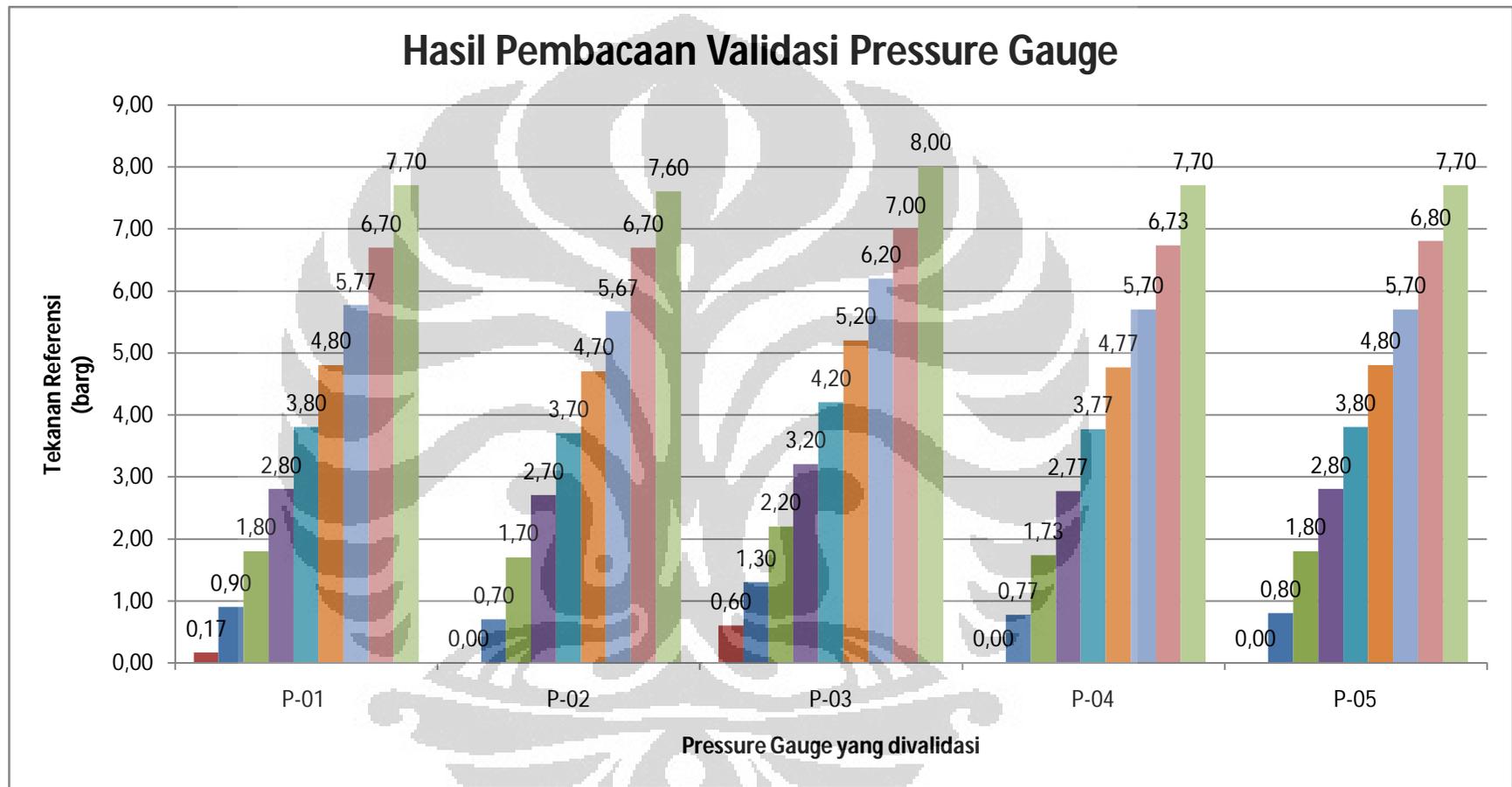
Tabel 4.19 Rata-rata perhitungan Akurasi *Pressure gauge*

Tekanan Referensi (barg), P_{ref}	Tekanan pada <i>pressure gauge</i> (P_{aktual})					% Kesalahan (<i>error</i>) = $(P_{ref} - P_{aktual}) \times 100\% / P_{skala\ maksimal}$				
<i>Pressure gauge</i>	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05
0	0,17	0,00	0,60	0,00	0,00	2,08%	0,00%	7,50%	0,00%	0,00%
1	0,90	0,70	1,30	0,77	0,80	1,25%	3,75%	3,75%	2,92%	2,50%
2	1,80	1,70	2,20	1,73	1,80	2,50%	3,75%	2,50%	3,33%	2,50%
3	2,80	2,70	3,20	2,77	2,80	2,50%	3,75%	2,50%	2,92%	2,50%
4	3,80	3,70	4,20	3,77	3,80	2,50%	3,75%	2,50%	2,92%	2,50%
5	4,80	4,70	5,20	4,77	4,80	2,50%	3,75%	2,50%	2,92%	2,50%
6	5,77	5,67	6,20	5,70	5,70	2,92%	4,17%	2,50%	3,75%	3,75%
7	6,70	6,70	7,00	6,73	6,80	3,75%	3,75%	0,00%	3,33%	2,50%
8	7,70	7,60	8,00	7,70	7,70	3,75%	5,00%	0,00%	3,75%	3,75%

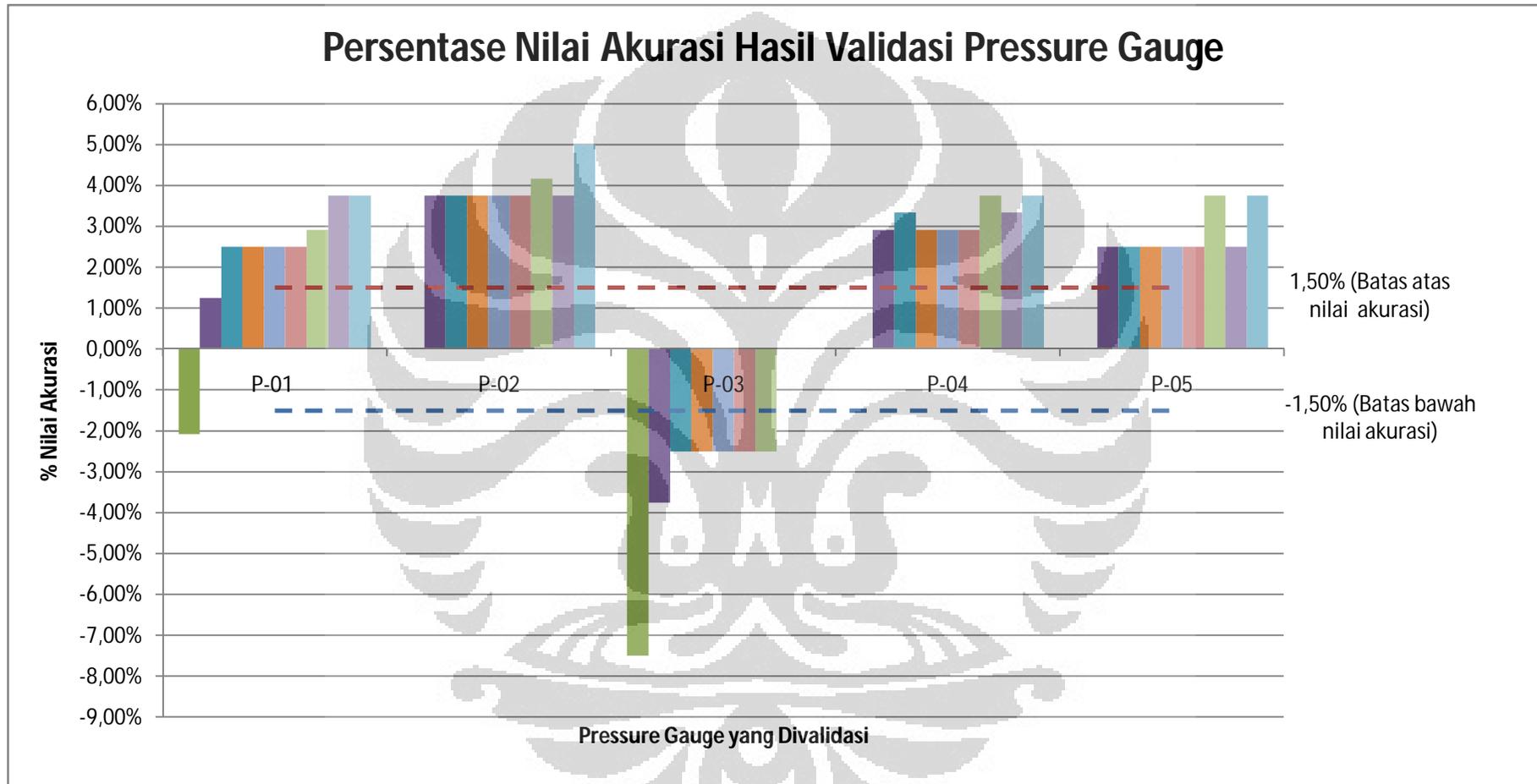
Jika digambarkan dengan diagram batang pada grafik 4.2 akan terlihat jelas perbedaan pembacaan antara tekanan referensi dan tekanan yang divalidasi.

Pada grafik 4.3 terlihat bahwa nilai akurasi untuk setiap *pressure gauge* sangat jauh berbeda dengan nilai akurasi awal yaitu $\pm 1,5\%$ (terlihat dengan garis putus-putus). Nilai akurasi paling rendah dimiliki oleh *pressure gauge* P-03 yaitu mencapai $7,5\%$ pada tekanan 0 bar. Nilai akurasi yang masih dalam rentang spesifikasi *pressure gauge* tersebut hanya pada *pressure gauge* P-01 pada tekanan 1 barg yaitu $1,25\%$, *pressure gauge* P-02, P-04, dan P-05 pada tekanan 0 barg, dan P-03 pada tekanan 7 dan 8 barg.

Dari hasil perhitungan nilai kesalahan pembacaan dapat disimpulkan bahwa semua *pressure gauge* hampir rata-rata sudah tidak memiliki nilai akurasi yang masih standar yaitu yaitu $\pm 1,5\%$.



Grafik 4.2 Perbandingan tekanan referensi dan tekanan *pressure gauge* yang divalidasi



Grafik 4.3 Perbandingan % akurasi *pressure gauge* yang divalidasi

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisa hasil pengujian maka ada beberapa hal yang dapat disimpulkan, yaitu :

1. *Pressure transducer* yang diuji yaitu merk OMEGA tipe PX800-100 GV S/N 448209 bisa digunakan sebagai referensi pada pengukuran tekanan kerja pada PLTU 450 watt karena analisa *gage repeatability* dan *reproducibility* menunjukkan hasil pengukuran yang konsisten.
2. *Pressure transducer* yang diuji memiliki nilai histerisis maksimal sebesar 0,33 % , kesalahan akibat ketidaklinieran 1,61 % , dan kesalahan akibat *non-repeatability* 0,73 % . Dengan metode RSS (*Root Sum Square*) didapat nilai akurasi terendah yaitu 1,79 % pada skala penuh.
3. Persamaan karakteristik *pressure transducer* yaitu :

$$y = 13,61x - 1,699$$

Memiliki gradien garis 13,61 milivolt per barg sehingga setiap kenaikan 1 barg maka *pressure transducer* ini akan mengeluarkan output sekitar 13,61 milivolt

4. Dari hasil validasi nilai tekanan dengan *pressure transducer* maka dapat disimpulkan bahwa untuk P-01 (*Pressure gauge* untuk tekanan uap keluar boiler) memiliki range nilai akurasi 2,5 % s.d 3,75 % . Dengan mengacu pada nilai akurasi tersebut maka direkomendasikan *pressure gauge* ini diganti. Jika akan digunakan sebagai indikator tekanan pada PLTU 450 watt maka harus memperhatikan nilai akurasi pada 7 dan 8 barg yaitu 3,75% . Untuk *pressure gauge* yang lainnya ditunjukkan pada tabel berikut ini, yaitu :

<i>Pressure gauge</i>	Bagian yang diukur	Range Akurasi	Rekomendasi
P-02	Tekanan uap keluar <i>pressure reducing valve</i>	0 % s.d. 5 %	Diganti atau jika digunakan kembali harus memperhatikan nilai akurasinya
P-03	Tekanan uap masuk superheater	0 % s.d. 7,5 %	Dapat digunakan kembali
P-04	Tekanan uap keluar superheater	0 % s.d. 3,75 %	Diganti atau jika digunakan kembali harus memperhatikan nilai akurasinya
P-05	Tekanan uap masuk turbin	0 % s.d. 3,75 %	Diganti atau jika digunakan kembali harus memperhatikan nilai akurasinya

5.2. Saran

1. Dalam penelitian selanjutnya maka disarankan agar *pressure transducer* dikalibrasi terlebih dahulu.
2. Dapat dilakukan metode pengecekan *pressure gauge* dengan suatu test gauge yang memiliki akurasi yang lebih baik.
3. Untuk mendapatkan nilai tekanan yang lebih jelas maka disarankan output *pressure transducer* dirangkai dengan rangkaian *data acquisition unit* dan dilengkapi dengan display digital.

DAFTAR REFERENSI

- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (1994). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (2nd ed.). United States of America: McGraw-Hill.
- Koestoer, Raldi Artono. (2003). *Pengukuran Teknik*. Jakarta, Indonesia.
- G.M.S de silva. (2002). *Basic Metrology for ISO Certification*. United States of America: Butterworth-Heinemann.
- G.K. Vijayaraghavan, R. Rajappan. (2009). *Engineering Metrology and Measurements*, Chennai : A.R.S Publications.
- America Society of Mechanical Engineer (ASME) Standard. (2005). *Pressure Gauges and Gauges Attachments*, United States of America.
- A Technical Reference Series OMEGA. (1998), *TRANSACTION IN MEASUREMENT AND CONTROL VOL.3 Forced-Related Measurement*, United States of America : Putman Publishing Company dan OMEGA Press.
- United States Department of The Interior Bureau of Reclamation. *Procedure for Callibrating Differential Pressure Transducers*, United States of America.
- United States Department of The Interior Bureau of Reclamation. *Procedure for Callibrating Pressure Gauge*, United States of America.
- Technical White Paper RDP Group. *Understanding Transducer Characteristic and Performance*. www.rdpe.com
- Robert E.Bicking. (1998). *Fundamental of Pressure Sensor Technology*.
www.sensormag.com
- www.omega.com
- www.omron.co.nz

LAMPIRAN 1

Data II pengujian voltmeter Fluke 189 RMS Mutimeter

Fluke

Type : 189 RMS Multimeter

Rabu, 25 Januari 2012

	Pengamatan I			Pengamatan II	
	Tempat : Lab. Turbin Uap			Tempat : Rumah	
Frekuensi (menit)	Waktu	Nilai terukur (mVolt DC)	Temperatur	Waktu	Nilai terukur (mVolt DC)
0	11,25	0,184	28	7,30	0,140
5	11,30	0,047	28	7,35	0,058
10	11,35	0,042	28	7,40	0,037
15	11,40	0,038	28	7,45	0,036
20	11,45	0,036	28	7,50	0,032
25	11,50	0,035	28	7,55	0,031
30	11,55	0,032	28	8,00	0,032
35	12,00	0,031	28	8,05	0,030
40	12,05	0,032	28	8,10	0,030
45	12,10	0,032	28	8,15	0,030
50	12,15	0,032	28	8,20	0,029
55	12,20	0,031	28	8,25	0,031
60	12,25	0,030	28	8,30	0,030
65	12,30	0,031	28,5	8,35	0,031
70	12,35	0,031	28,5	8,40	0,030
75	12,40	0,031	28,5	8,45	0,029
80	12,45	0,031	28,5	8,50	0,030
85	12,50	0,031	28,5	8,55	0,029
90	12,55	0,032	28,5	9,00	0,030
95	13,00	0,032	28,5	9,05	0,031
100	13,05	0,031	28,5	9,10	0,029
105	13,10	0,030	28,5	9,15	0,029
110	13,15	0,030	28,5	9,20	0,030
115	13,20	0,030	28,5	9,25	0,029
120	13,25	0,029	28,5	9,30	0,030
Rata-rata		0,031			0,030
Nilai Minimum		0,029			0,029
Nilai Maksimum		0,184			0,14
Deviasi standard		0,031			0,022

LAMPIRAN 2

Data I Output Pressure transducer I bernomor seri S/N 448206

Data Pengamatan 0 Barg		Data Pengamatan 1 Barg	
Tempat : Lab. Turbin Uap		Tempat : Lab. Turbin Uap	
Waktu	Nilai terukur (mVolt DC)	Waktu	Nilai terukur (mVolt DC)
12,30	3541,90	13,35	3591,60
12,35	3343,90	13,40	3582,70
12,40	3382,80	13,45	3630,60
12,45	3657,30	13,50	3632,00
12,50	3628,40	13,55	3634,60
12,55	3629,30	14,00	3623,20
13,00	3624,60	14,05	3627,70
13,05	3581,30	14,10	3620,80
13,10	3547,10	14,15	3622,20
13,15	3522,40	14,20	3591,40
13,20	3578,40	14,25	3589,20
13,25	3637,50	14,30	3595,20
13,30	3610,20	14,35	3544,20
Nilai rata-rata	3560,39		3606,57
Nilai minimum	3343,90		3544,20
Nilai maksimum	3657,30		3634,60
Standar Deviasi	96,80		26,65
% Standar deviasi	2,72%		0,739%

LAMPIRAN 3

Data I Output Pressure transducer II bernomor seri S/N 448209 (Tahap I)

Data Pengamatan 0 Barg		Data Pengamatan 1 Barg		Data Pengamatan 2 Barg		Data Pengamatan 3 Barg		Data Pengamatan 4 Barg		Data Pengamatan 5 Barg		Data Pengamatan 6 Barg	
Tempat : Lab. Turbin Uap													
Waktu	Nilai terukur (mVolt DC)												
10,40	0,059	11,30	15,783	12,15	29,466	13,15	42,955	14,05	56,70	15,00	70,59	15,40	84,06
10,43	0,060	11,33	15,746	12,18	29,493	13,18	43,099	14,08	56,68	15,03	70,59	15,43	83,94
10,46	0,059	11,36	15,731	12,21	29,535	13,21	43,036	14,11	56,67	15,06	70,55	15,46	84,26
10,49	0,059	11,39	15,739	12,24	29,445	13,24	43,055	14,14	56,66	15,09	70,48	15,49	83,88
10,52	0,059	11,42	15,745	12,27	29,442	13,27	43,086	14,17	56,67	15,12	70,48	15,52	83,84
10,55	0,058	11,45	15,698	12,30	29,439	13,30	43,103	14,20	56,62	15,15	70,48	15,55	83,84
10,58	0,058	11,48	15,680	12,33	29,460	13,33	43,220	14,23	56,68	15,18	70,44	15,58	83,78
11,01	0,058	11,51	15,660	12,36	29,442	13,36	43,029	14,26	56,60	15,21	70,44	16,01	
11,04	0,058	11,54	15,650	12,39	29,392	13,39	43,023	14,29	56,55	15,24	70,38	16,04	
11,07	0,056	11,57	15,657	12,42	29,370	13,42	43,007	14,32	56,56	15,27	70,41	16,07	
11,10	0,056	12,00	15,660	12,45	29,376	13,45	42,979	14,35	56,54	15,30	70,40	16,10	
11,13	0,056	12,03	15,676	12,48	29,378	13,48	42,967	14,38	56,50	15,33	70,40	16,13	
11,16	0,056	12,06	15,672	12,51	29,402	13,51	43,076	14,41	56,70	15,36	70,40	16,16	
Nilai rata-rata	0,058		15,700		29,434		43,049		56,63		70,46		83,94
Nilai minimum	0,056		15,650		29,370		42,955		56,50		70,38		83,78
Nilai maksimum	0,060		15,783		29,535		43,220		56,70		70,59		84,26
Standar Deviasi	0,001		0,044		0,049		0,071		0,07		0,07		0,17
% Standar dev.	2,43%		0,28%		0,17%		0,16%		0,12%		0,10%		0,20%

LAMPIRAN 4

Data I Output Pressure transducer II bernomor seri S/N 448209 (Tahap II)

Kenaikkan Tekanan 0-8 barg

Data Pengamatan 0 Barg		Data Pengamatan 1 Barg		Data Pengamatan 2 Barg		Data Pengamatan 3 Barg		Data Pengamatan 4 Barg		Data Pengamatan 5 Barg		Data Pengamatan 6 Barg		Data Pengamatan 7 Barg		Data Pengamatan 8 Barg	
Tempat : Lab. Turbin Uap																	
Waktu	Nilai terukur (mVolt DC)																
9,45	0,052	10,15	11,635	10,40	24,895	11,01	38,624	11,30	52,09	12,00	65,82	12,30	79,47	13,00	93,82	14,00	108,01
9,48	0,051	10,18	11,603	10,43	24,905	11,04	38,662	11,33	52,09	12,03	65,83	12,33	79,47	13,03	93,71	14,03	107,98
9,51	0,048	10,21	11,589	10,46	24,904	11,07	38,681	11,36	52,06	12,06	65,85	12,36	79,46	13,06	93,66	14,06	107,93
9,54	0,049	10,24	11,577	10,49	24,899	11,10	38,702	11,39	52,08	12,09	65,87	12,39	79,45	13,09	93,62	14,09	107,89
9,57	0,048	10,27	11,570	10,52	24,889	11,13	38,722	11,42	52,10	12,12	65,86	12,42	79,44	13,12	93,63	14,12	107,84
10,00	0,047	10,30	11,562	10,55	24,877	11,16	38,731	11,45	52,11	12,15	65,84	12,45	79,46	13,15	93,54	14,15	107,81
10,03	0,046	10,33	11,557	10,58	24,863	11,19	38,729	11,48	52,13	12,18	65,82	12,48	79,47	13,18	93,45	14,18	107,76
10,06	0,047	10,36	11,552	11,01	24,856	11,22	38,724	11,51	52,13	12,21	65,80	12,51	79,46	13,21	93,55	14,21	107,74
10,09	0,046	10,39	11,549	11,01	24,848	11,25	38,720	11,54	52,13	12,24	65,79	12,54	79,45	13,24	93,56	14,24	107,72
10,12	0,044	10,42	11,547	11,01	24,837	11,28	38,714	11,57	52,12	12,27	65,77	12,57	79,45	13,27	93,57	14,27	107,69
Nilai rata-rata	0,048		11,574		24,877		38,701		52,104		65,825		79,458		93,611		107,837
Nilai minimum	0,044		11,547		24,837		38,624		52,062		65,770		79,440		93,450		107,690
Nilai maksimum	0,052		11,635		24,905		38,731		52,129		65,870		79,470		93,820		108,010
Standar Deviasi	0,002		0,028		0,025		0,035		0,023		0,032		0,010		0,103		0,112
% Std. Deviasi	5,01%		0,24%		0,10%		0,09%		0,04%		0,05%		0,01%		0,11%		0,10%

LAMPIRAN 5

Data I Output Pressure transducer II bernomor seri S/N 448209 (Tahap II)

Penurunan Tekanan 8-0 barg

Data Pengamatan 8 Barg		Data Pengamatan 7 Barg		Data Pengamatan 6 Barg		Data Pengamatan 5 Barg		Data Pengamatan 4 Barg		Data Pengamatan 3 Barg		Data Pengamatan 2 Barg		Data Pengamatan 1 Barg		Data Pengamatan 0 Barg	
Tempat : Lab. Turbin Uap																	
Waktu	Nilai terukur (mVolt DC)																
12,30	108,010	12,55	94,610	13,17	80,150	13,40	65,420	14,02	51,460	14,25	37,944	14,50	24,388	14,50	11,106	14,50	0,052
12,33	107,980	12,58	94,630	13,20	80,130	13,43	65,500	14,05	51,540	14,28	38,005	14,53	24,478	14,53	11,132	14,53	0,051
12,36	107,930	13,01	94,650	13,23	80,140	13,46	65,530	14,08	51,590	14,31	38,033	14,56	24,532	14,56	11,152	14,56	0,048
12,39	107,890	13,04	94,690	13,26	80,140	13,49	65,560	14,11	51,620	14,34	38,048	14,59	24,570	14,59	11,171	14,59	0,049
12,42	107,840	13,07	94,670	13,29	80,140	13,52	65,570	14,14	51,640	14,37	38,059	15,02	24,598	15,02	11,183	15,02	0,048
12,45	107,810	13,10	94,540	13,32	79,240	13,55	65,590	14,17	51,660	14,40	38,038	15,05	24,620	15,05	11,194	15,05	0,047
12,48	107,760	13,13	94,460	13,35	79,410	13,58	65,600	14,20	51,660	14,43	38,065	15,08	24,637	15,08	11,205	15,08	0,046
12,51	107,740	13,16	94,400	13,38	79,430	14,01	65,600	14,23	51,670	14,46	38,069	15,11	24,651	15,11	11,218	15,11	0,047
12,54	107,720	13,19	94,370	13,41	79,490	14,01	65,590	14,26	51,680	14,49	38,074	15,14	24,698	15,14	11,228	15,14	0,046
12,57	107,690	13,22	94,360	13,44	79,490	14,01	65,600	14,29	51,690	14,52	38,076	15,17	24,717	15,17	11,239	15,17	0,044
Nilai rata-rata	107,837		94,538		79,776		65,556		51,621		38,041		24,589		11,183		0,048
Nilai minimum	107,690		94,360		79,240		65,420		51,460		37,944		24,388		11,106		0,044
Nilai maksimum	108,010		94,690		80,150		65,600		51,690		38,076		24,717		11,239		0,052
Standar Deviasi	0,112		0,130		0,390		0,058		0,073		0,041		0,101		0,043		0,002
% Std. Deviasi	0,10%		0,14%		0,49%		0,09%		0,14%		0,11%		0,41%		0,38%		5,01%

LAMPIRAN 6

Output Pressure transducer II bernomor seri S/N 448209 dengan Alat Ukur Pemanding Fluke 114

Kenaikkan Tekanan 0-6 barg

Data Pengamatan 0 Barg		Data Pengamatan 1 Barg		Data Pengamatan 2 Barg		Data Pengamatan 3 Barg		Data Pengamatan 4 Barg		Data Pengamatan 5 Barg		Data Pengamatan 6 Barg	
Tempat : Lab. Turbin Uap													
Waktu	Nilai terukur (mVolt DC)												
9,45	0,1	10,15	11,1	10,40	24,8	11,01	38,4	11,30	52,3	12,00	66,2	12,30	80,1
9,48	0,1	10,18	11,1	10,43	24,8	11,04	38,5	11,33	52,3	12,03	66,2	12,33	80,1
9,51	0,1	10,21	11,1	10,46	24,8	11,07	38,5	11,36	52,4	12,06	66,3	12,36	80,3
9,54	0,1	10,24	11,1	10,49	24,7	11,10	38,5	11,39	52,4	12,09	66,3	12,39	80,3
9,57	0,1	10,27	11,1	10,52	24,7	11,13	38,5	11,42	52,4	12,12	66,3	12,42	80,3
10,00	0,1	10,30	11,1	10,55	24,7	11,16	38,5	11,45	52,5	12,15	66,3	12,45	80,1
10,03	0,1	10,33	11,1	10,58	24,7	11,19	38,5	11,48	52,5	12,18	66,3	12,48	80,2
10,06	0,1	10,36	11,1	11,01	24,7	11,22	38,6	11,51	52,5	12,21	66,3	12,51	80,2
10,09	0,1	10,39	11,1	11,01	24,7	11,25	38,6	11,54	52,5	12,24	66,3	12,54	80,1
10,12	0,1	10,42	11,1	11,01	24,7	11,28	38,5	11,57	52,5	12,27	66,3	12,57	80,1
Nilai rata-rata	0,1		11,1		24,7		38,5		52,4		66,3		80,2
Nilai minimum	0,1		11,1		24,7		38,4		52,3		66,2		80,1
Nilai maksimum	0,1		11,1		24,8		38,6		52,5		66,3		80,3
Standar Deviasi	0,0		0,0		0,05		0,1		0,1		0,0		0,1

LAMPIRAN 7

Tabel Analisa Repeatability dan Reproducibility; Output Pressure Transducer OMEGA PX800-100 GV - 0 barg

Pengamat / Pengambilan ke	Tekanan 0 Barg (Kenaikkan)										Rata-rata
	Data ke										
Pengamat : Erman											
1,000	0,052	0,051	0,048	0,049	0,048	0,047	0,046	0,047	0,046	0,044	0,048
2,000	0,052	0,051	0,048	0,049	0,048	0,047	0,046	0,047	0,046	0,044	0,048
3,000	0,048	0,048	0,048	0,048	0,05	0,05	0,051	0,053	0,054	0,055	0,051
4,000	0,036	0,036	0,037	0,038	0,038	0,04	0,041	0,041	0,042	0,043	0,039
5,000	0,032	0,033	0,031	0,03	0,03	0,029	0,029	0,029	0,028	0,028	0,030
Rata-rata	0,044	0,044	0,042	0,043							
Max	0,052	0,051	0,048	0,049	0,050	0,050	0,051	0,053	0,054	0,055	0,051
Min	0,032	0,033	0,031	0,030	0,030	0,029	0,029	0,029	0,028	0,028	0,030
Range	0,020	0,018	0,017	0,019	0,020	0,021	0,022	0,024	0,026	0,027	0,021
Pengamat : Ibnu Roihan											
1,000	0,046	0,045	0,043	0,043	0,042	0,04	0,041	0,058	0,063	0,053	0,047
2,000	0,037	0,035	0,034	0,034	0,032	0,032	0,031	0,030	0,029	0,028	0,032
3,000	0,043	0,041	0,040	0,039	0,038	0,038	0,037	0,036	0,035	0,035	0,038
4,000	0,054	0,053	0,052	0,051	0,05	0,05	0,049	0,049	0,049	0,049	0,051
5,000	0,041	0,043	0,041	0,04	0,04	0,039	0,038	0,037	0,037	0,036	0,039
Rata-rata	0,044	0,043	0,042	0,041	0,040	0,040	0,039	0,042	0,043	0,040	0,042
Max	0,054	0,053	0,052	0,051	0,050	0,050	0,049	0,058	0,063	0,053	0,053
Min	0,037	0,035	0,034	0,034	0,032	0,032	0,031	0,030	0,029	0,028	0,032
Range	0,017	0,018	0,018	0,017	0,018	0,018	0,018	0,028	0,034	0,025	0,021
$[(\bar{R}_a =) + (\bar{R}_b =) + (\bar{R}_c =)] / \text{jumlah pengamat} =$											0,021
$(\bar{X} \text{ maksimum}) - (\bar{X} \text{ minimum}) =$											0,002
$\text{Range batas kontrol limit atas } (UCL_R) = (\bar{R} \times D_4)$											0,038
$\text{Range Batas kontrol limit bawah } (LCL_R) = (\bar{R} \times D_3)$											0,005
$\text{Nilai rata - rata dari rata - rata (grand mean)} = \bar{\bar{X}}$											0,042
$\text{Rata - rata batas kontrol limit atas } (UCL_{\bar{X}}) = (\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R})$											0,049
$\text{Rata - rata batas kontrol limit bawah } (LCL_{\bar{X}}) = (\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R})$											0,036

LAMPIRAN 8

Perhitungan nilai kesalahan akibat non-repeatability; Output Pressure Transducer OMEGA PX800-100 GV

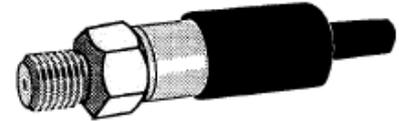
Rata-rata pengukuran output pressure transducer tiap pengamatan (milivolt)										
	Pengamat I					Pengamat II				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 Barg	0,048	0,048	0,051	0,039	0,030	0,047	0,032	0,038	0,051	0,039
% repeatability	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%		0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	
1 Barg	11,574	11,423	11,372	11,455	11,088	11,240	11,207	10,997	11,059	11,256
% repeatability	0,14%	0,05%	0,08%	0,34%		0,03%	0,19%	0,06%	0,18%	
2 Barg	24,877	25,080	25,100	24,608	24,838	24,705	24,623	24,599	24,710	24,579
% repeatability	0,19%	0,02%	0,46%	0,21%		0,08%	0,02%	0,10%	0,12%	
3 Barg	38,701	38,426	38,528	38,788	38,473	38,678	39,045	38,833	38,536	38,468
% repeatability	0,26%	0,10%	0,24%	0,29%		0,34%	0,20%	0,27%	0,06%	
4 Barg	52,104	51,908	52,302	52,316	52,252	52,211	52,395	52,614	52,450	52,621
% repeatability	0,18%	0,37%	0,01%	0,06%		0,17%	0,20%	0,15%	0,16%	
5 Barg	65,825	65,439	66,005	66,315	66,185	66,313	66,386	66,522	66,306	66,194
% repeatability	0,36%	0,53%	0,29%	0,12%		0,07%	0,13%	0,20%	0,10%	
6 Barg	79,458	79,091	79,799	79,893	80,301	80,142	80,477	80,619	80,211	79,960
% repeatability	0,34%	0,66%	0,09%	0,38%		0,31%	0,13%	0,38%	0,23%	
7 Barg	93,611	93,940	94,646	94,187	93,935	93,484	93,867	93,582	94,091	93,778
% repeatability	0,31%	0,66%	0,43%	0,23%		0,35%	0,26%	0,47%	0,29%	
8 Barg	107,837	107,649	107,388	108,173	107,901	107,965	107,854	107,670	108,055	107,803
% repeatability	0,17%	0,24%	0,73%	0,25%		0,10%	0,17%	0,36%	0,23%	

LAMPIRAN 9

Spesifikasi Pressure Transducer PX800-100GV



PX800 Series
Pressure Transducers
Operator's Manual: M0630/0493



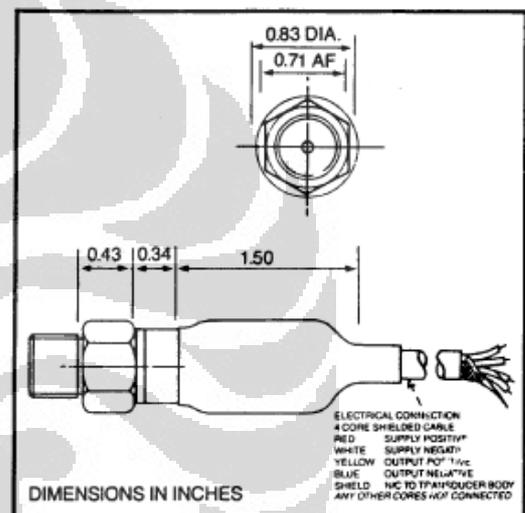
GENERAL DESCRIPTION

The OMEGA® PX800 is an extremely high accuracy, rugged, solid-state transducer. Excellent for use in adverse environments, the PX800's fully encapsulated sensing element consists of a four arm strain gage bridge diffused into the surface of a single crystal silicon diaphragm. The silicon diaphragm has excellent mechanical and electrical properties; combined linearity and hysteresis accuracy less than 0.1% BFSL, fast response, and maximum acceleration sensitivity.

FEATURES

- High Accuracy up to 0.1%
- Temperature Compensated, -5° to 175°F
- Rugged Construction, Well Suited for Shock and Vibration
- Excellent Overpressure Rating 4X Full Scale, Depending on Range
- Crystal Silicon Diaphragm for Fast Response Time

OUTLINE DIMENSIONS/ELECTRICAL CONNECTIONS



SPECIFICATIONS

MODEL	RANGE PSIG	MODEL	RANGE PSIG
PX800-001GV	0 to 1	PX800-100GV	0 to 100
PX800-002GV	0 to 2.5	PX800-150GV	0 to 150
PX800-005GV	0 to 5	PX800-200GV	0 to 200
PX800-010GV	0 to 10	PX800-300GV	0 to 300
PX800-015GV	0 to 15	PX800-500GV	0 to 500
PX800-020GV	0 to 20	PX800-900GV	0 to 900
PX800-030GV	0 to 30	PX800-2KSV*	0 to 2K
PX800-050GV	0 to 50		

* SV= sealed gage model

EXCITATION:	10 Vdc at 15 mA
OUTPUT:	17 mV for 1 psi range; 25 mV for 2.5 psi range; 50 mV for 5 psi range; 100 mV for 10 psi range and above
OUTPUT IMPEDANCE:	1000 ohms nominal
LOAD IMPEDANCE:	> 100 kilohm for rated performance
ACCURACY:	$\pm 0.1\%$ BFSL for 1 to 900 psi ranges; $\pm 0.2\%$ BFSL for 1K and 2K psi ranges (combined non-linearity and hysteresis)

SPECIFICATIONS (cont'd.)

ZERO BALANCE:	± 3 mV
SPAN SETTING:	± 10 mV standard; units of the same range are better than ± 3 mV from each other
COMPENSATED TEMPERATURE RANGE:	-5° to 175°F (-20° to 80°C)
TEMPERATURE EFFECTS:	$\pm 0.5\%$ total error 32° to 122°F (0° to 50°C); $\pm 1.5\%$ total error -5° to 175°F (-20° to 80°C); 1 psi range, $\pm 0.5\%$ total error band 50° to 105°F (10° to 40°C)
OVERPRESSURE RATING:	10x for 1 and 2.5 psi ranges; 6x for 5 psi ranges; 4x for 10 psi to 2K psi ranges
NATURAL FREQUENCY:	28 kHz for 5 psi range, 360 kHz for 500 psi range
MECHANICAL SHOCK:	1000g for 1 ms
ACCELERATION:	0.006% FSO/g for 5 psi decreasing to 0.002% FSO/g for 500 psi
PRESSURE MEDIA:	Fluids compatible with quartz and titanium
TRANSDUCTION PRINCIPLE:	Integrated silicon gage bridge
PRESSURE PORT:	$\frac{1}{4}$ -18 NPT
ELECTRICAL CONNECTION:	36" 4-wire shielded cable
WEIGHT:	1.8 oz.

WARNING!
READ BEFORE INSTALLATION

Fluid hammer and surges can destroy any pressure transducer and must always be avoided. A pressure snubber should be installed to eliminate the damaging hammer effects.

Fluid hammer occurs when a liquid flow is suddenly stopped, as with quick closing solenoid valves. Surges occur when flow is suddenly begun, as when a pump is turned on at full power or a valve is quickly opened.

Liquid surges are particularly damaging to pressure transducers if the pipe is originally empty. To avoid damaging surges, fluid lines should remain full (if possible), pumps should be brought up to power slowly and valves opened slowly. To avoid damage from both fluid hammer and surges, a surge chamber should be installed, and a pressure snubber should be installed on every transducer.

Symptoms of fluid hammer and surge's damaging effects:

- Pressure transducer exhibits an output at zero pressure (large zero offset). If zero offset is less than 10% FS, user can usually re-zero meter, install proper snubber and continue monitoring pressure.
- Pressure transducer output shows constant regardless of pressure.
- In worse cases, there will be no output.

WARRANTY

OMEGA warrants this unit to be free of defects in materials and workmanship and to give satisfactory service for a period of 12 months from date of purchase. OMEGA Warrants add an additional one (1) month grace period to the normal one (1) year product warranty to cover handling and shipping time. This assures that our customers receive maximum coverage on each product. If the unit should malfunction, it must be returned to the factory for evaluation. Our Customer Service Department will issue an Authorized Return (AR) number immediately upon phone or written request. Upon examination by OMEGA, if the unit is found to be defective it will be repaired or replaced at no charge. However this WARRANTY is VOID if the unit shows evidence of having been tampered with or shows evidence of being damaged as a result of excessive corrosion, or current, heat, moisture or vibration; improper specification; misapplication; misuse or other operating conditions outside of OMEGA's control. Components which wear or which are damaged by misuse are not warranted. These include contact points, fuses, and valves.

We are glad to offer suggestions on the use of our various products. Nevertheless OMEGA only warrants that the parts manufactured by it will be as specified and free of defects.

OMEGA MAKES NO OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS OF ANY KIND WHATSOEVER, EXPRESSED OR IMPLIED, EXCEPT THAT OF TITLE AND ALL IMPLIED WARRANTIES INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE HEREBY DISCLAIMED.

LIMITATION OF LIABILITY: The remedies of buyer set forth herein are exclusive and the total liability of OMEGA with respect to this order, whether based on contract, warranty, negligence, indemnification, strict liability or otherwise, shall not exceed the purchase price of the component upon which liability is based. In no event shall OMEGA be liable for consequential, incidental or special damages.

Every precaution for accuracy has been taken in the preparation of this manual, however, OMEGA ENGINEERING, INC. neither assumes responsibility for any omissions or errors that may appear nor assumes liability for any damages that result from the use of the products in accordance with the information contained in the manual.

OMEGA's policy is to make running changes, not model changes, whenever an improvement is possible. That way our customers get the latest in technology and engineering.

OMEGA is a registered trademark of OMEGA ENGINEERING, INC.

© Copyright 1993 OMEGA ENGINEERING, INC. All rights reserved including illustrations. Nothing in this manual may be reproduced in any manner, either wholly or in part for any purpose whatsoever without written permission from OMEGA ENGINEERING, INC.

Printed in U.S.A.

Service USA and Canada: Call OMEGA Toll Free

OMEGA Engineering, Inc.

One Omega Drive, Box 4047
Stamford, CT 06907-0047 U.S.A.
Headquarters: (203) 359-1000

Sales: 1-800-826-6342 / 1-800-TC-OMEGA

Customer Service: 1-800-622-2378 / 1-800-622-0C5T

Engineering: 1-800-872-9436 / 1-800-USA-WHEN

FAX: (203) 359-7760 TELE: 900404 EASYLINK: 6290094 CABLE: OMEGA

Service Europe: United Kingdom Sales and Distribution Center

OMEGA Technologies Ltd.

P.O. Box 1, Broughton Astley, Leicestershire

LE19 6XR, England

Telephone: (0455) 285520 FAX: (0455) 283912

RETURN REQUESTS / INQUIRIES

Direct all warranty and repair requests/inquiries to OMEGA's Customer Service Department. Call toll free in the USA and Canada: 1-800-622-2378, FAX: 203-359-7811; International: 203-359-1660, FAX: 203-359-7817.

BEFORE RETURNING ANY PRODUCT(S) TO OMEGA, YOU MUST OBTAIN AN AUTHORIZED RETURN LABEL NUMBER FROM OUR CUSTOMER SERVICE DEPARTMENT (IN ORDER TO AVOID PROCESSING DELAYS). The assigned AR number should then be marked on the outside of the return package and on any correspondence.

FOR WARRANTY RETURNS, please have the following information available BEFORE contacting OMEGA:

1. P.O. number under which the product was PURCHASED,
2. Model and serial number of the product under warranty, and
3. Repair instructions and/or specific problems you are having with the product.

FOR NON-WARRANTY REPAIRS OR CALIBRATION, consult OMEGA for current recalibration charges. Have the following information available BEFORE contacting OMEGA:

1. Your P.O. number to cover the COST of the recalibration,
2. Model and serial number of the product,
3. Repair instructions and/or specific problems you are having with the product.

LAMPIRAN 10

Standar Kalibrasi Pressure Gauge



UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF RECLAMATION



US3R 1040-89

PROCEDURE FOR CALIBRATING PRESSURE GAUGES

INTRODUCTION

This procedure is under the jurisdiction of the Geotechnical Services Branch, code D-3760, Research and Laboratory Services Division, Denver Office, Denver, Colorado. The procedure is issued under the fixed designation USBR 1040. The number immediately following the designation indicates the year of acceptance or the year of last revision.

1. Scope

1.1 This designation outlines the procedure for calibrating pressure gauges used for standard laboratory testing. It is recommended that any adjustments to a pressure gauge be made only by experienced personnel or the manufacturer.

1.2 This calibration procedure is limited to pressure gauges as classified in Federal Specification GG-G-76E.

2. Applicable Documents

2.1 American National Standard, ANSI B40.1-1930, Gauges-Pressure Indicating Dial-Type — Elastic Element

2.2 Federal Specification GG-G-76E, Gauges, Pressure, and Vacuum, Dial Indicating, 1981

3. Summary of Method

3.1 A master gauge is calibrated using a primary pressure standard (see subpar. 9.2, figs. 1 and 3a). The pressure gauge to be calibrated is connected to the master gauge as shown on figure 3b. Pressure is applied to the pressure gauge at predetermined pressure increments over its full operating range. The value indicated by the pressure gauge is compared to the corresponding value indicated by the master gauge at each pressure increment. The percent error between the two values is calculated and the gauge is adjusted as necessary.

4. Significance and Use

4.1 Pressure gauges used in the laboratory must be calibrated to ensure reliable test results.

4.2 This calibration procedure is to be performed upon receipt of a pressure gauge and annually thereafter.

5. Apparatus

5.1 *Pressure Gauge.*—A pressure gauge meeting requirements of Federal Specification GG-G-76E and the American National Standard ANSI B40.1-1980.

5.2 *Primary Pressure Standard* (fig. 1).—A high accuracy, deadweight tester designed for precision measurement of applied gas pressure. The device consists of a weighted piston which becomes suspended in static equilibrium when a prescribed gas pressure is introduced. Calibrated masses are used for a range of pressures.

5.3 *Tubing.*—High-pressure tubing of appropriate size and length to connect pressure gauges and the primary pressure standard to the pressure source.

5.4 *Pressure Regulator.*—A pressure regulator capable of maintaining the desired pressure to the gauges and primary pressure standard.

5.5 *Valves.*—Appropriate size valves, two required; bleed and pressure cutoff.

6. Precautions

6.1 *Safety Precautions.*—Safety glasses are to be worn when applying pressure to the gauges.

7. Calibration and Standardization

7.1 Verify that the primary pressure standard has been currently calibrated in accordance with manufacturer specifications. If the calibration is not current, it is to be performed before using the primary pressure standard for this calibration procedure.

8. Conditioning

8.1 Not applicable; special conditioning requirements are not needed for this procedure.

9. Procedure

9.1 All data are to be recorded on the "Pressure Gauge Calibration" form as shown on figure 2.

9.2 *Master Gauge Calibration:*

9.2.1 Connect the master gauge to the primary pressure standard and pressure source as shown on figure 3a.

9.2.2 Apply pressure to the master gauge in increments (a minimum of five) over the full range of the master gauge.

9.2.3 Record the value of pressure indicated by the primary pressure standard and the corresponding value of pressure indicated by the master gauge for each pressure increment.

9.2.4 Compute the percent error for each pressure increment and compare the values obtained with permissible error values in table 1.

9.2.5 Adjust the master gauge if necessary (see subpar. 1.1) and repeat subparagraphs 9.2.2 through 9.2.4

USBR 1040

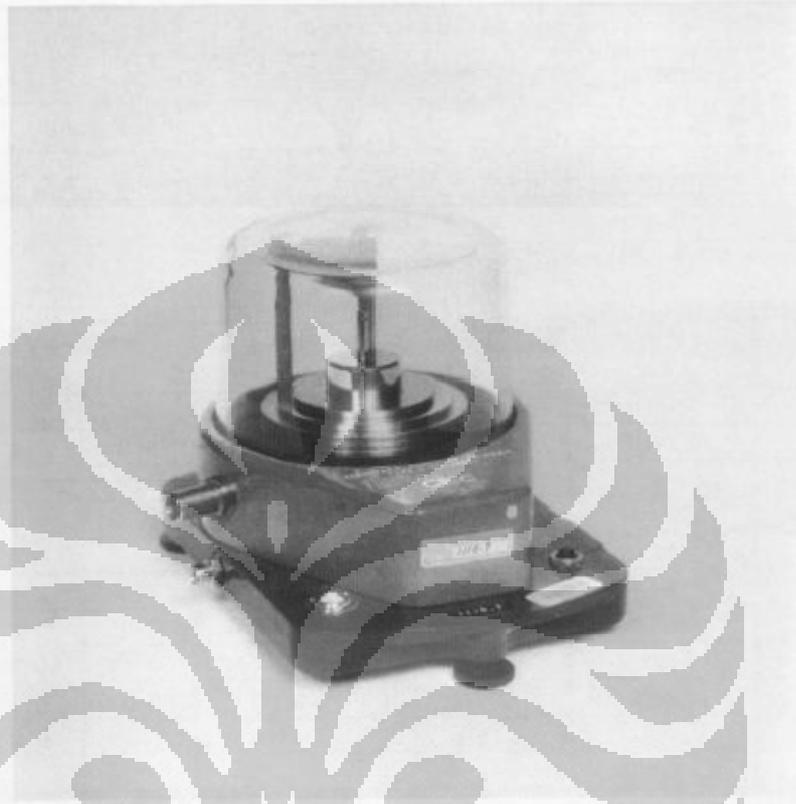


Figure 1. - Primary pressure standard.

until the calculated percent error is within the permissible range specified in table 1.

9.2.6 After three trials, if the percent error values calculated for the master gauge are not within those shown in table 1, a new master gauge should be obtained and calibrated in accordance with subparagraph 9.2.

9.3 Gauge Calibration:

9.3.1 Connect the gauge to be calibrated to the master gauge and pressure source as shown on figure 3b.

9.3.2 Apply pressure to the gauge to be calibrated in increments (a minimum of five) over the full range of the gauge.

9.3.3 Record the value of pressure indicated by the master gauge and the corresponding value of pressure indicated by the gauge being calibrated for each pressure increment.

9.3.4 Compute the percent error for each pressure increment and compare the values obtained with permissible error values in table 1.

9.3.5 Adjust the gauge if necessary (see subpar. 1.1) and repeat subparagraphs 9.3.2 through 9.3.4 until the calculated percent error values are within the permissible ranges specified in table 1.

9.3.6 After three trials, if the percent error values calculated for the gauge are not within those shown in table 1, the gauge should be rejected for laboratory use.

Table 1. - Pressure gauge accuracy grades.¹

Accuracy grade ²	Permissible error, percent of span		
	Lower one-fourth of scale	Middle one-half of scale	Upper one-fourth of scale
1A	0.1	0.1	0.1
3A	0.25	0.25	0.25
2A	0.5	0.5	0.5
A	2.0	1.0	2.0
B	3.0	2.0	3.0
C	4.0	3.0	4.0
D	5.0	5.0	5.0

¹ Table taken from ANSI B40.1-1980.

² Accuracy grade is specified by the manufacturer. An accuracy grade of 3A generally is suitable for most geotechnical laboratory testing applications.

10. Calculations

10.1 Calculations required are as shown on figure 2.

11. Report

11.1 The report is to consist of a completed and checked "Pressure Gauge Calibration" form (fig. 2).

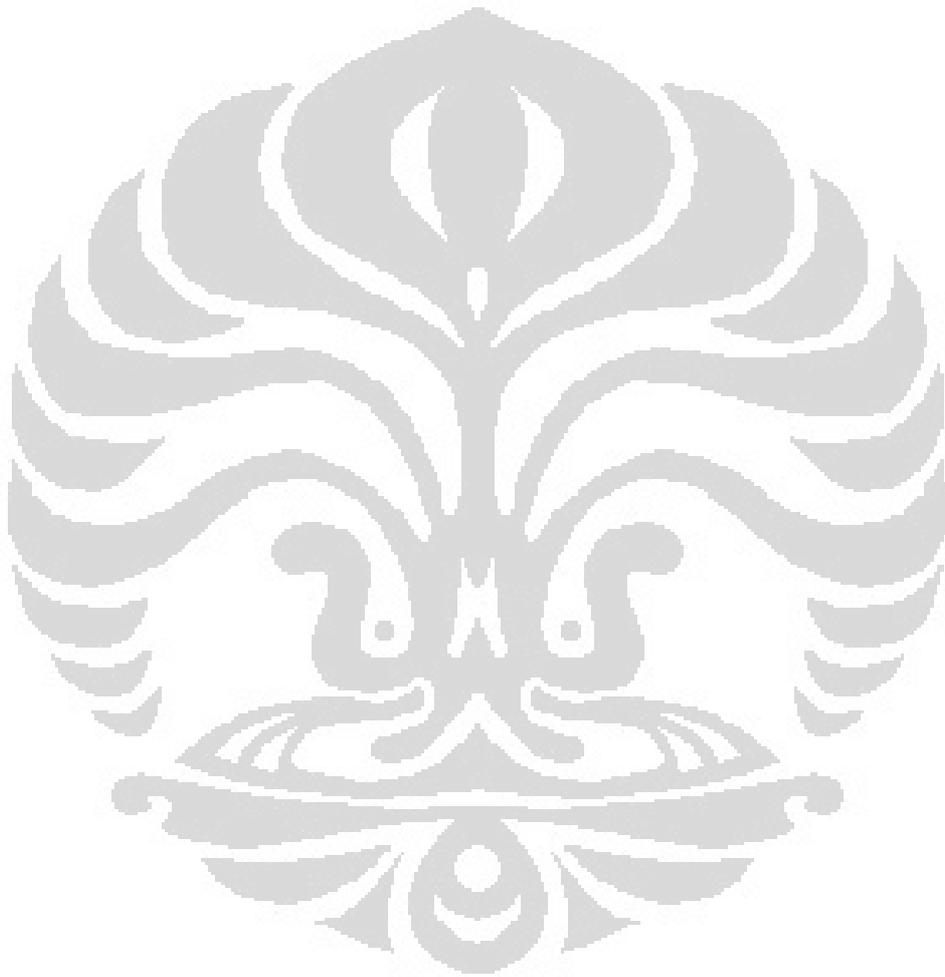
11.2 All calculations are to show a checkmark.

USBR 1040

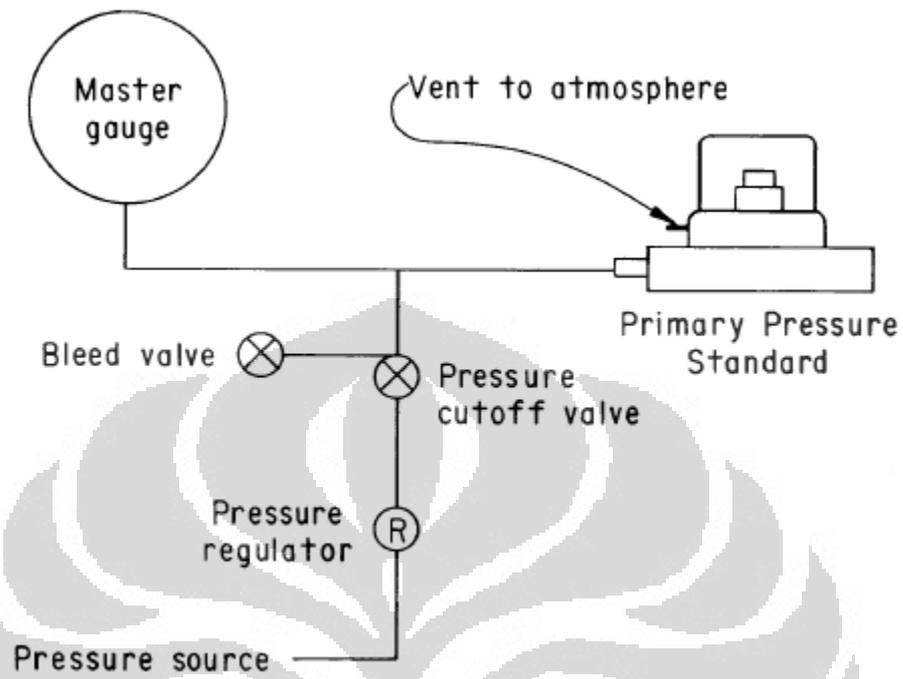
7-2328 (10-85) Bureau of Reclamation		PRESSURE GAUGE CALIBRATION			Designation USBR 1040 - 89		
MANUFACTURER <u>EXAMPLE</u>							
GAUGE RANGE 0-1400 kPa		ACCURACY GRADE 3A		SERIAL NO. 7			
MASTER GAUGE RANGE 0-1500kPa		ACCURACY GRADE 3A		SERIAL NO. 45787			
CALIBRATED BY		DATE		CHECKED BY.		DATE	
FULL SCALE MASTER GAUGE INDICATION (FCM) <u>1500 kPa</u> Master gauge calibration							
Pressure applied lbf/in ² <input type="checkbox"/> kPa <input checked="" type="checkbox"/>	Master gauge reading (MGR) lbf/in ² <input type="checkbox"/> kPa <input checked="" type="checkbox"/>			% error = $\frac{(1) - (MGR)}{(FCM)} \times 100$ Trial			
(1)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	
0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	
200	200	200	200	0.0	0.0	0.0	
400	401	400	402	-0.07	0.0	-0.13	
600	598	600	599	0.13	0.0	0.07	
800	801	801	801	-0.07	-0.07	-0.07	
1000	1000	1000	1000	0.0	0.0	0.0	
1200	1202	1201	1200	-0.13	-0.07	0.0	
1400	1400	1398	1399	0.0	0.13	0.07	
1500	1502	1500	1500	-0.13	0.0	0.0	
FULL SCALE MASTER GAUGE INDICATION (FCG) <u>1400 kPa</u> Gauge calibration							
Master gauge reading lbf/in ² <input type="checkbox"/> kPa <input checked="" type="checkbox"/>	Gauge reading (GR) lbf/in ² <input type="checkbox"/> kPa <input checked="" type="checkbox"/>			% error = $\frac{(1) - (GR)}{(FCG)} \times 100$ Trial			
(1)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	
0	0			0.0			
200	202			-0.14			
400	402			-0.14			
600	602			-0.14			
800	802			-0.14			
1000	1000			0.0			
1200	1200			0.0			
1400	1400			0.0			
Remarks <u>Trial A indicates gauge meets permissible error percentages given</u> <u>in Table I for 3A accuracy grade.</u>							
Accept <input checked="" type="checkbox"/>							
Reject <input type="checkbox"/>							

GPO 649-232

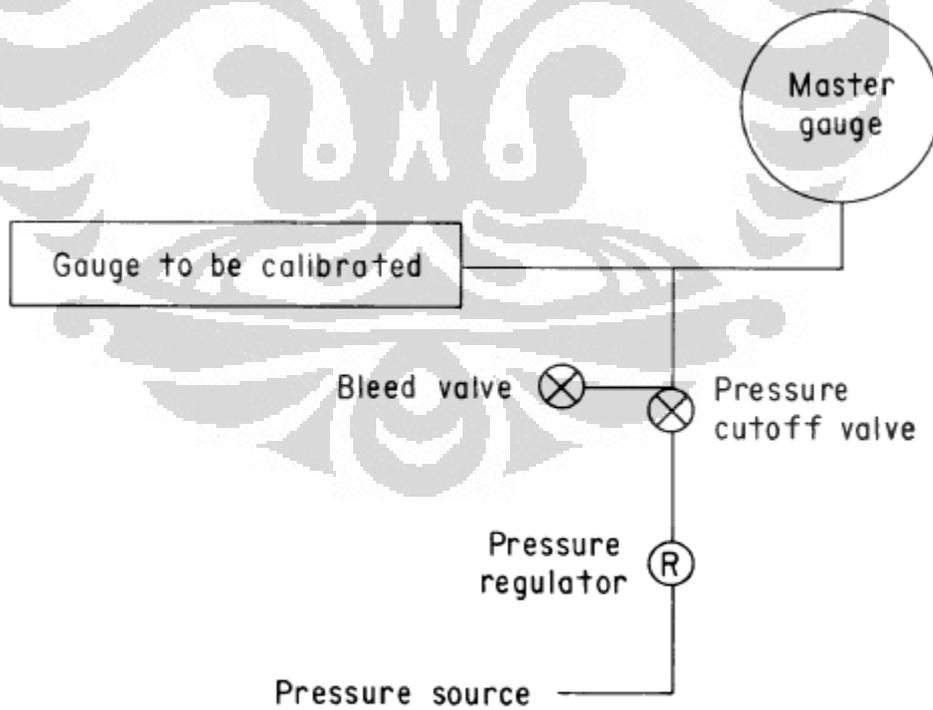
Figure 2. - Pressure gauge calibration — example.



USBR 1040



(a) Schematic of master gauge calibration



(b) Schematic of gauge calibration

Figure 3. - Schematics of calibration assemblies.

