



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH KEKASARAN DINDING PIPA TERHADAP  
AKURASI PENGUKURAN ALIRAN GAS DENGAN  
*TURBINE METER***

**SKRIPSI**

**BHRE KUMARA HANGGA WIJAYA  
0806368452**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH KEKASARAN DINDING PIPA TERHADAP  
AKURASI PENGUKURAN ALIRAN GAS DENGAN  
*TURBINE METER***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

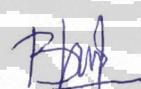
**BHRE KUMARA HANGGA WIJAYA  
0806368452**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA EKSTENSI  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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



Nama : Bhre Kumara Hangga Wijaya  
NPM : 0806368452  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 27 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Bhre Kumara Hangga Wijaya  
NPM : 0806368452  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Pengaruh Kekasaran Dinding Pipa Terhadap Akurasi  
Pengukuran Aliran Gas Dengan *Turbine Meter*

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 : Ir. Warjito M.Sc.Ph.D (  )  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo M.Eng (  )  
Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih MT (  )  
Penguji : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan YME, atas rahmat yang di berikan kepada penulisan skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi yang berjudul **Pengaruh Kekasaran Dinding Pipa Terhadap Akurasi Pengukuran Aliran Gas Dengan Turbine Meter** ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan Sarjana Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.

Selama proses pengerjaan ini penulis menghadapi kesulitan terutama dalam memahami konsep dasar dari materi ini dan program komputer yang digunakan untuk simulasi dan perhitungan. Namun, dengan kemauan, usaha, dan bantuan dari berbagai pihak, Puji Tuhan penulisan skripsi ini dapat diselesaikan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Warjito M.Sc.Ph.D., selaku dosen pembimbing satu-satunya yang telah meluangkan waktu di tengah-tengah pekerjaannya, untuk membimbing, mengarahkan, dan memberi koreksi selama penyusunan skripsi ini.
2. Pihak PT. Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan.
3. Bapak Hery Gunawan, yang membimbing, mengarahkan dalam melakukan penelitian dan telah meluangkan waktu di tengah-tengah pekerjaannya.
4. Orang tua saya yang telah memberi dukungan moril untuk menguatkan semangat dan ikhtiar kami dalam menjalani pendidikan di Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.
5. Teman- teman mahasiswa S1 PPSE angkatan 2008 yang telah banyak membantu dan menjadi salah satu tempat untuk bertukar informasi.

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

Depok, Juni 2011  
Penulis

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

---

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

Nama : Bhre Kumara Hangga Wijaya

NPM : 0806368452

Program Studi : Teknik Mesin (PPSE)

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

Pengaruh Kekasaran Dinding Pipa Terhadap Akurasi Pengukuran Aliran Gas Dengan *Turbine Meter*

berserta 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 memublikasikan 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 : 27 Juni 2011

Yang menyatakan



(Bhre Kumara Hangga Wijaya)

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

---

---

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

Nama : Bhre Kumara Hangga Wijaya

NPM : 0806368452

Program Studi : Teknik Mesin (PPSE)

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:

Pengaruh Kekasaran Dinding Pipa Terhadap Akurasi Pengukuran Aliran Gas Dengan *Turbine Meter*

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 memublikasikan 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 : 27 Juni 2011

Yang menyatakan

(Bhre Kumara Hangga Wijaya)

## ABSTRAK

Nama : BHRE KUMARA HANGGA WIJAYA  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Judul : PENGARUH KEKASARAN DINDING PIPA  
TERHADAP AKURASI PENGUKURAN ALIRAN  
GAS DENGAN *TURBINE METER*

Ketepatan dalam mengukur sangat penting diperlukan dalam setiap transaksi gas. Semakin akurat dan semakin tepat hasil pengukuran, maka akan memberikan kepercayaan kepada konsumen pemakai gas. Oleh karena itu pemasok gas menggunakan alat ukur *turbine meter* yang sah telah dikalibrasi atau ditera di metrologi. *Turbine meter* tertera dalam tera ulang menjadi sarana dinyatakan suatu *turbine meter* sah untuk dipergunakan dalam transaksi jual beli gas. Gas alam dapat mengakibatkan pipa terkorosi. Semakin tua umur pipa untuk transaksi jual beli gas maka semakin kasar pula dinding pipa karena korosi. Pipa yang terkorosi mengakibatkan akurasi pengukuran aliran gas dengan turbine meter menjadi berkurang. Sementara itu pemasok gas yang menjual gas ke industri dituntut untuk menggunakan alat ukur yang akurat dalam mengukur gas agar konsumen memperoleh gas dengan kuantitas yang benar. Pengambilan data pengukuran dilakukan dengan variasi aliran gas, pengukuran aliran gas dengan *turbine meter* dengan variasi pipa *upstream* dimana kekasaran dinding pipa *upstream* beraneka ragam.

Proses evaluasi data yang dilakukan, yaitu dengan perhitungan *flow rate* hasil pengukuran di *turbine meter* di bandingkan dengan *flow rate* pengukuran oleh rotary meter hasil pengukuran, perbandingan hasil pengukuran *turbine meter* dengan rotary meter akan memperoleh akurasi dari *turbine meter*. Kekasaran dinding pipa berpengaruh terhadap akurasi pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*.

### Kata Kunci

Kekasaran dinding pipa, *Turbin meter*. Pengukuran aliran gas.

## ABSTRACT

Name : BHRE KUMARA HANGGA WIJAYA  
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING  
Title : EFFECT OF WALL PIPE ROUGHNESS TOWARD  
GAS FLOW ACCURACY MEASUREMENT WITH  
TURBINE METER

The accuracy in measuring the most important gas is needed in every transaction. The measurement results are more accurate and more precise, will give confidence to consumers of gas users. Therefore, the supplier of gas turbines using a measuring instrument has been calibrated meter or ditera valid in metrology. Turbine meters tera rewritten into state law a tool for turbine meters used in the purchase and sale of gas. Natural gas can result in corroded pipes. The older age of the pipe for gas sales and purchase transactions, the pipe is too Diding more rough because of corrosion. Rusty pipes that lead to the accurate measurement of gas flow to the turbine meter must be reduced. Meanwhile, gas supplier that sells gas for industrial use are needed for an accurate measurement tool in measuring the gas so that consumers get the correct amount of gas. Data is collected by measuring variations in the gas flow, gas flow measurement by turbine meter with a variation of the upstream pipe where the pipe wall roughness upstream diverse.

The process of data evaluation is done, namely by calculating the flow rate in turbine meter measurement results compared with measurements of flow rate measured by the rotary meter, a comparison of measurement results by a turbine meter swivel feet will get from the turbine meter accuracy. Pipe wall roughness affect the measurement accuracy of gas flow to the turbine meter.

Key words

Roughness wall of the pipe, gas turbine meter, flow measurement

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR NOTASI .....	xiii
DAFTAR DEVINISI .....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Metodologi Penelitian .....	5
1.7. Sistematika Penulisan .....	5
	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	
2.1 Profil Aliran Pada <i>Turbine Meter</i> .....	8
2.1.1 Bilangan Reynolds.....	9
2.1.2 Faktor gesekan ( <i>friction factor</i> ) .....	9
2.2 Hukum gas ideal.....	10
2.3 Prinsip Kerja <i>Turbine Meter</i> .....	13
2.4 Konversi Volume.....	14
2.5 Index Head.....	15
2.6 Instalasi.....	15
2.6.1 Sistim Lubrikasi dan Pelumasan Sebelum Start Up.....	16
2.6.2 Pipa <i>Upstream</i> dan <i>Downstream</i> .....	16
2.6.3 Arah Flow dan Orientasi Meter.....	16
2.6.4 Pressure Connection.....	17
2.6.5 Temperature Connection.....	17
2.6.6 Pengukuran Density.....	18
2.6.7 K-Factor.....	18
2.7 Operasi.....	18
2.7.1 Akurasi.....	18

2.7.2 Repeatability.....	18
2.7.3 Operating Flow Range.....	19
2.7.4 Overload.....	19
<b>BAB 3 PERANGKAT DAN ASPEK PENGUJIAN.....</b>	<b>22</b>
3.1 Skematik Alat Uji.....	22
3.2 Kondisi pengujian.....	23
3.3 Instalasi alat uji.....	28
3.4 Prosedur experiment. ....	41
3.5 Fluida yang digunakan.....	42
<b>BAB 4 DATA DAN ANALISIA.....</b>	<b>48</b>
4.1 Pengujian. ....	48
4.2 Perhitungan.....	48
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>58</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 aliran di viscous sublayer dekat.....	9
Gambar 2.2 Profile kecepatan untuk <i>low and high Reynolds numbers</i> .....	10
Gambar 2.3 Gas Turbine Meter.....	14
Gambar 2.4 <i>Index Head Counter</i> .....	15
Gambar 2.5 MRS (Metering Regulating Station) instalasi <i>turbine meter</i> sesuai dengan rekomendasi dari AGA report No.7.....	16
Gambar 3.1 skematik alat uji.....	22
Gambar 3.2 alat uji <i>turbine meter</i> kalibrator.....	23
Gambar 3.3 pipa <i>upstream turbine meter</i> .....	23
Gambar 3.4 alat ukur kekasaran (surfcom 120A) .....	26
Gambar 3.5 <i>roughness specimen</i> E-MC-824A.....	26
Gambar 3.6 pengukuran ampelas dengan surfcom 120A.....	26
Gambar 3.7 merupakan parameter dan hasil pengukur <i>roughness avarange (Ra)</i> dengan surfcom 120A.....	27
Gambar 3.8 Instalasi alat uji pipa <i>upstream</i> .....	28
Gambar 3.9 design pipa <i>upstream</i> .....	29
Gambar 3.10 pipa <i>upsteam</i> .....	29
Gambar 3.11 <i>turbine meter</i> G.65.....	31
Gambar 3.12 <i>rotary meter</i> .....	32
Gambar 3.13 gerakan impeller.....	33
Gambar 3.14 schematic dari basic element <i>centrifugal blower</i> .....	35
Gambar 3.15 <i>pressure transmitter</i> .....	36
Gambar 3.16 temperature transmitter.....	37
Gambar 3.17 RTD ( <i>Resistance Thermometer detector</i> ) .....	38
Gambar 3.18 koneksi RTD ( <i>Resistance Thermometer detector</i> ) 4 wire ke terminal.....	38
Gambar 3.19 <i>Control Valve</i> .....	39
Gambar 3.20 <i>butterfly valve</i> .....	40
Gambar 3.21 control panel.....	41
Gambar 3.22 HMI ( <i>Human Machine Interface</i> ) .....	41
Gambar 4.1 Piping konfigurasi.....	43
Gambar 4.2 konfigurasi <i>turbin meter</i> pada waktu dilakukan penganbilan data.....	44
Gambar 4.3 grafik pengaruh kekasaran ( $\epsilon/d$ ) terhadap error (%) dalam pengukuran alairan <i>turbine meter</i> .....	54
Gambar 4.4 kurva akurasi <i>turbin meter</i> kondisi <i>atmospheric pressure</i> .....	55
Gambar 4.4 grafik pengakuran kekasaran ( $\epsilon/d$ ) terhadap flow rate (Q) dengan <i>turbine meter</i> .....	56
Gambar 4.5 maxsimum error yang diijinkan mengacu pada ISO 9951.....	55

## DAFTAR TABEL

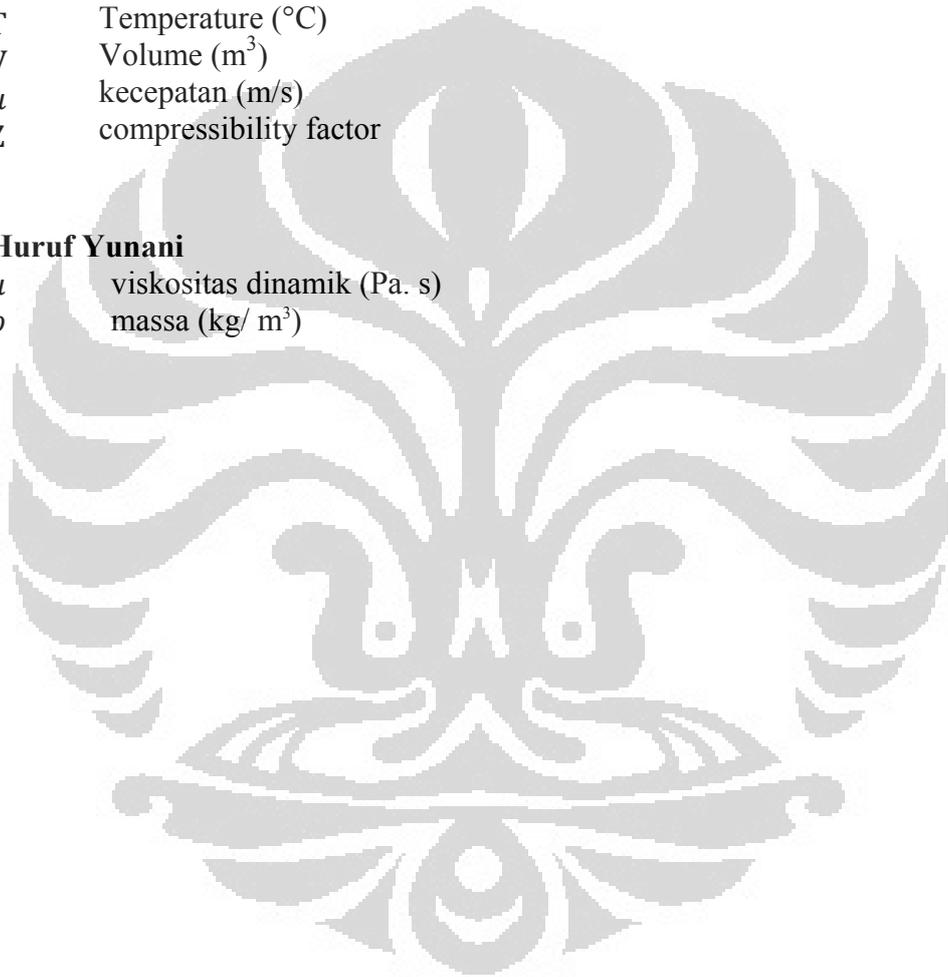
Tabel 2.1 Rumus <i>Friction Factor</i> Berdasarkan Bilangan Reynolds.....	11
Tabel 2.2 Maximum working Pressure <i>turbine meter</i> .....	19
Tabel 2.3 Pressure loss <i>Turbine Meter</i> .....	19
Table 3.1 Spesifikasi alat ukur kekasaran.....	25
Table 3.2 material pipa <i>upstream</i> .....	29
Table 3.3 spesifikasi <i>turbin meter</i> .....	31
Table 3.4 spesifikasi <i>rotay meter</i> .....	32
Table 3.5 spesifikasi <i>centrifugal blower</i> .....	35
Table 3.6 spesifikasi <i>pressure transmitter</i> .....	36
Table 3.7 spesifikasi <i>temperature transmitter</i> .....	39
Table 4.1 Identifikasi meter tube.....	43
Table 4.2 Meter flow conditioner.....	44
Table 4.3 Meter <i>thermowell</i> .....	44
Table 4.4 Fitting identifikasi.....	44
Table 4.5 Data nilai roughnes ampelas type AA 60.....	59
Table 4.6 Data nilai roughnes ampelas type AA 100.....	60
Table 4.7 Data nilai roughnes ampelas type AA 180.....	61
Table 4.8 Data nilai roughnes ampelas type AA 240.....	62
Table 4.9 Data nilai $\epsilon/d$ .....	47
Table 5.0 Meter dan kalibrasi parameter.....	50
Tabel 5.1 pencapaian flow rate pada measuring point pipa <i>upstream</i> A0.....	51
Tabel 5.2 pencapaian flow rate pada measuring point pipa <i>upstream</i> A1.....	52
Tabel 5.3 pencapaian flow rate pada measuring point pipa <i>upstream</i> A2.....	52
Tabel 5.4 pencapaian flow rate pada measuring point pipa <i>upstream</i> A3.....	53
Tabel 5.5 pencapaian flow rate pada measuring point pipa <i>upstream</i> A4.....	54
Tabel 5.6 pengaruh kekasaran ( $\epsilon/d$ ) terhadap error (%) pengukuran <i>turbine meter</i> .....	55
Tabel 5.7 pengaruh kekasaran ( $\epsilon/d$ ) terhadap flow rate (Q) yang sebenarnya pengukuran <i>turbine meter</i> .....	55

## DAFTAR NOTASI

$A$	luas penampang kanal ( $m^2$ )
$D$	diameter dalam pipa (m)
$f$	<i>friction factor</i>
$L$	panjang pipa (m)
$N$	angka dari mol gas
$P$	Tekanan (bar)
$\Delta P$	Pressure los (bar)
$T$	Temperature ( $^{\circ}C$ )
$V$	Volume ( $m^3$ )
$u$	kecepatan (m/s)
$Z$	compressibility factor

### Huruf Yunani

$\mu$	viskositas dinamik (Pa. s)
$\rho$	massa ( $kg/ m^3$ )



## DAFTAR DEFINISI

<i>Akurasi</i>	Nilai-nilai yang diukur sesuai dengan nilai actual dari variable pengukuran
<i>Downstream</i>	Pipa lurus dibelakang flow meter
<i>Error</i>	Hasil dari pengukuran dikurangi nilai yang sebenarnya dari besaran ukuran
<i>Maksimum Error</i>	Kesalahan pengukuran yang diijinkan dalam kisaran tertentu pada operasional meter
<i>Repeatability</i>	Kemampuan suatu alat untuk mendapatkan hasil baca yang sama pada beberapa kali pengukuran process variable yang sama
<i>Upstream</i>	Pipa lurus di depan flow meter
<i>Rangeability</i>	Daerah ukur alat pada proses pengukuran

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Kemajuan industri di Indonesia dewasa ini cukup pesat, kemajuan tersebut ditunjukkan untuk mendukung program pemerintah dalam pemanfaatan sumberdaya bagi keperluan industri baik dalam negeri maupun luar negeri. Salahsatu pemanfaatan sumber daya alam yang tidak dapat di perbaharuhi adalah gas alam. Banyak type meter gas digunakan untuk mengukur volume gas yang masuk ke industri. Dibawah ini adalah type-type meteran gas yang digunakan untuk mengukur volume gas alam :

### a. Diaphragm meter

Diaphragm meter adalah meter gas yang menggunakan diafragma yang lentur, dengan susunan seperti hembusan untuk mengukur volume gas yang melewati meter<sup>1</sup>. Pada umumnya meter jenis ini dipasang untuk konsumen yang memakai gas relatif kecil yaitu di rumah tangga. Diaphragm meter adalah jenis yang paling umum dari meteran gas dengan volume yang kecil. Diaphragm meters dipakai hampir semua perumahan. Dalam diaphragma meter ada dua diafragma yang bergerak. Dengan aliran gas diatur oleh katup internal, bergantian mengisi ruangan gas. Diafragma mengembang dan kontrak dengan punggukit terhubung ke engkol mengubah gerakan linear diafragma menjadi gerak rotasi poros engkol yang berfungsi sebagai elemen aliran utama. Poros ini dapat mendorong mekanisme counter.

### b. Rotary meter.

Rotary meter adalah instrumen flow meter yang presisi. Rotary meter tidak butuh pipa lurus yang panjang baik di bagian *upstream* maupun di bagian *downstream* meter, karena profil aliran tidak mempengaruhi ketelitian pengukuran<sup>2</sup>. Rotary meter mampu dengan volume tinggi dan tekanan dari meteran diafragma. Di dalam rotary meter dua buah bagian yang bergerak

---

<sup>1</sup> Elster, diaphragma meter, brosure. 2010

<sup>2</sup> Rotary Meter delta brosure, 2010

berbentuk 8, rotary meter juga dikenal sebagai impeler. Dengan tiap impeler memindahkan sejumlah gas melalui meter. Prinsip operasi mirip dengan blower roots. Gerakan rotasi crankshaft dapat memutar mekanisme counter.

c. Turbine meter.

Turbine meter adalah meter gas untuk transaksi jual beli gas yang banyak dipakai di Indonesia. Turbine meter menghitung kenaikan volume aliran yang mengalir di jalur lingkaran yang ada di meter<sup>3</sup>. Volume gas dihitung dengan menggunakan mekanikal counter yang terpasang pada bagian atas *turbin*. Pulse transmitter akan menghasilkan signal pulsa yang setara dengan volume gas. Volume yang ditunjukkan oleh mekanikal counter atau pulse transmitter adalah volume aktual yang mengalir pada pipa, dengan tekanan dan temperatur aliran. Profile aliran *swirl*, turbulensi dan asimetri tidak dikehendaki sebelum gas mencapai *rotating turbine wheel*. *Dynamic force* dari gas yang mengalir, menyebabkan rotor berputar.

d. Orifice meter.

Orifice meter adalah satu set alat yang diletakan disuatu pipa untuk menghambat aliran fluida dan menimbulkan *pressure drop*<sup>4</sup>. Pengukuran laju aliran didapat dari perbedaan tekanan, karena adanya *pressure drop* tersebut. Metode pengukuran ini disebut rate meter, jadi tidak langsung mengukur quantity fluida. Jenis orifice meter yang banyak dipakai adalah concentric, square edge, flange tap orifice meter. Selain orifice plate, flow nozzle dan venturi tube juga masuk kedalam jenis flow meter ini. Agar dapat dipakai untuk pengukuran orifice meter perlu di kalibrasi. Cara mengkalibrasi orifice meter adalah dengan cara mengalirkan sejumlah gas dengan volume tertentu dan mencatat pembacaannya untuk mendapatkan quantity standard bagi pengukuran fluida.

---

<sup>3</sup> AGA report No. 7, *Measurement of Fuel Gas by Turbine Meters*, Washington, DC. 1981.

<sup>4</sup>AGA report No. 3, fourth edition, *Orifice Metering of natural gas and other related hydrocarbon fluids*, Washington, DC. 2000.

e. Ultrasonik flow meter.

Cara kerja Ultrasonik flow meter lebih kompleks dari pada meter mekanik, karena ultrasonik flow meter membutuhkan pemrosesan sinyal dan kemampuan menghitung. Ultrasonik meter mengukur kecepatan aliran gas dengan cara mengukur kecepatan rambat suara ultrasonik yang dihasilkan oleh transduser, dimana suara ultrasonik bergerak dalam medium gas di dalam pipa<sup>5</sup>. *American Gas Association Report No.9* mengatur penggunaan yang tepat dalam pemasangan meter ultrasonik. *American Gas Association Report No.9* menetapkan standar perhitungan kecepatan suara yang memprediksi kecepatan suara dalam gas dengan tekanan yang diketahui, temperatur dan komposisi gas. Yang paling rumit adalah jenis flow meter ultrasonic karena kecepatan rata-rata gelombang ultrasonik dihasilkan oleh transduser lebih dari beberapa baris dalam pipa. Panjang setiap rute ultrasonik tepatnya diukur di pabrik. Setiap suara ultrasonik dihasilkan oleh sebuah transduser ultrasonik disatu ujung dan sebuah sensor di ujung lainnya. Transduser mengukur waktu yang berlalu sebelum sensor menerima gelombang ultrasonik. Waktu perambatan gelombang ultrasonik dapat dibagi dengan panjang perambatan untuk mendapatkan kecepatan rata-rata suara ultrasonik di arah hulu ke hilir. Kecepatan berbeda dari kecepatan suara dalam gas dengan kecepatan di mana bergerak gas di dalam pipa. Jalur lain mungkin identik atau mirip. Kecepatan suara ultrasonik akan dibandingkan dengan perbedaan antara kecepatan hulu dan hilir untuk menghitung kecepatan aliran gas.

Yang paling cocok di gunakan untuk mengukur gas yang masuk ke industri adalah jenis meter turbin. Turbin meter sebagai pengukuran aliran gas baik untuk aplikasi *custody* maupun *non custody*. Keuntungan turbine meter diantaranya adalah<sup>6</sup>:

- a. *Rangeability* yang lebar 20 : 1
- b. Akurasi yang tinggi 1%
- c. *Repeatability* yang tinggi

---

<sup>5</sup> AGA report No. 9, *Ultrasonic Flowmetering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids*, Washington, DC. 2000

<sup>6</sup> Rotary Meter delta brosure, 2010

Ketepatan dalam mengukur sangat penting diperlukan dalam setiap transaksi gas. Diera perdagangan global saat ini, sangat bergantung pada pengukuran dan pengujian yang handal, terpercaya dan sesuai standar baik nasional maupun internasional. Semakin akurat dan semakin tepat hasil pengukuran, maka akan memberikan kepercayaan kepada konsumen pemakai gas. Oleh karena itu pemasok gas harus menggunakan alat ukur turbine meter yang sah telah dikalibrasi atau ditera di metrologi. *Turbine meter* tertera dalam tera ulang menjadi sarana dinyatakan suatu *turbine meter* sah untuk dipergunakan dalam transaksi jual beli gas. Sementara itu pemasok gas yang menjual gas ke industri dituntut untuk menggunakan alat ukur yang akurat dalam mengukur gas agar konsumen memperoleh gas dengan kuantitas yang benar. Hal ini di dorong juga oleh masyarakat yang menginginkan kehadiran transaksi perdagangan yang terpercaya.

*Turbin Meter* adalah Alat ukur dimana pembeli dan penjual gas sepakat mengadakan transaksi gas. *Turbin Meter* ini dipasang di konsumen yang memakai gas relatif besar yaitu di Industri. Turbine Meter yang memakai putaran impeller atau rotor untuk mengukur berapa volume gas yang melewati meter tersebut. Turbin meter yang digunakan sebaiknya mengacu pada standard *American Gas Association Report No.7*. Dan *turbine meter* harus di kalibrasi dan mendapatkan sertifikat. Panjang pipa *upstream* dalam instalasi turbine meter memerlukan panjang 10 kali diameter nominal pipa *upstream*<sup>7</sup>. Dan panjang pipa *downstream* dalam instalasi *turbine meter* memerlukan panjang 5 kali diameter nominal pipa *downstream*. Diameter Pipa *upstream* dan *downstream* harus sama dengan diameter *turbine meter*.

Gas alam dapat mengakibatkan pipa terkorosi. Semakin tua umur pipa untuk transaksi jual beli gas maka semakin kasar pula dinding pipa karena korosi. Pipa yang terkorosi mengakibatkan akurasi pengukuran aliran gas dengan turbine meter menjadi berkurang. Hal ini karena dinding pipa menjadi kasar. Pipa *upstream* yang terkorosi oleh gas alam mengakibatkan aliran menjadi turbulen, sehingga profil aliran menjadi rusak. Profil aliran yang swing menjadikan akurasi turbine meter menjadi berkurang.

---

<sup>7</sup> AGA report No. 7, *Measurement of Fuel Gas by Turbine Meters*, Washington, DC. 1981.

Ketika fluida mengalir melalui pipa diasumsikan profil aliran yang diinginkan bergerak seragam dengan kecepatan terbesar dekat pusat pipa<sup>8</sup>. Pipa yang terkorosi akan merusak profil aliran fluida didalam pipa dan mengurangi akurasi pengukuran *turbine meter*. Swirl terjadi ketika fluida melalui lengkungan pipa dan kekasaran dinding pipa.

## 1.2. Perumusan Masalah

Kekasaran pipa mempengaruhi akurasi *turbine meter*, pengaruh ini perlu diteliti. Karena *Turbin Meter* adalah Alat ukur dimana pembeli dan penjual gas sepakat mengadakan transaksi gas.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Mempelajari hubungan antara kekasaran dinding pipa *upstream* dengan akurasi pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*.

## 1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah hanya terbatas pada pengaruh kekasaran dinding pipa terhadap akurasi pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*.

## 1.5. Manfaat Penelitian

Mengetahui hubungan antara kekasaran diding pipa dengan akurasi *turbine meter* sehingga proses pengukuran menjadi lebih baik.

## 1.6. Metodologi Penelitian

Medologi penelitian yang menggambarkan langkah-langkah penulis dalam melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pilih topik penelitian.

Penulis berdiskusi dan berkonsultasi dengan pembimbing akademis mengenai permasalahan yang terjadi dalam perusahaan. Hasil dari tahap ini, penulis memutuskan untuk membahas topik mengenai pengaruh

---

<sup>8</sup> Rotary Meter delta brochure, 2010.

kekasaran dinding pipa terhadap akurasi pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*.

## 2. Pendahuluan.

Pada tahap ini penulis merumuskan permasalahan-permasalahan yang terjadi pada pengukuran aliran gas di dalam pipa yang terjadi di lapangan, dipilih *turbin meter* sebagai alat ukur karena banyak sekali *turbin meter* yang di pakai untuk mengukur aliran gas yang masuk ke industri. Termasuk bagaimana permasalahan saling berinteraksi dan berhubungan satu sama lain maka penulis menunjukkan pentingnya pengaruh kekasaran dinding pipa terhadap pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*. Setelah perumusan masalah kemudian penulis menentukan tujuan untuk penelitian ini.

## 3. Pengambilan data pengukuran.

Pengambilan data pengukuran dilakukan dengan variasi aliran gas, pengukuran aliran gas dengan *turbine meter* dengan variasi pipa *upstream* dimana kekasaran dinding pipa *upstream* beraneka ragam.

## 4. Pengolahan data.

Pada tahap ini penulis melakukan pengolahan data dengan menghitung aliran gas dengan rumus persamaan gas ideal, setelah itu membuat grafik flowrate dengan akurasi *turbine meter*.

## 5. Analisa dari data hasil pengujian dan kesimpulan.

Penulis melakukan analisa hasil pengolahan data sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai penelitian ini.

### 1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari:

#### Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

## Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang teori-teori atau hal-hal yang menjadi pendukung dalam penelitian yang dilakukan, seperti mekanika fluida, pengetahuan tentang instrumensasi.

## Bab 3 Perangkat dan Aspek Pengujian

Bab ini berisi tentang skematik alat pengujian yang direncanakan untuk dibangun, pemilihan alat-alat yang digunakan, serta kondisi pengujian yang direncanakan akan dilakukan.

## Bab 4 Simulasi dan Perhitungan

Bab ini berisi tentang proses evaluasi data yang dilakukan, yaitu dengan perhitungan *flow rate* hasil pengukuran di *turbine meter* di bandingkan dengan *flow rate* pengukuran oleh rotary meter hasil pengukuran, perbandingan hasil pengukuran turbine meter dengan rotary meter akan memperoleh akurasi dari *turbine meter*.

## Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan dan saran atau masukan untuk pelaksanaan proses penelitian sejenis di masa yang akan datang.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Profil Aliran Pada *Turbine Meter*

*Turbine meter* dirancang dengan semua standard internasional utama. Sebagian adalah untuk aplikasi jual beli gas yang banyak dipakai di Indonesia. *Turbine meter* menghitung kenaikan volume aliran yang mengalir di jalur lingkaran yang ada di meter<sup>9</sup>. Volume gas yang mengalir dalam pipa dapat dibaca di mechanical counter yang terpasang di atas *turbine meter*. Tambahan lagi signal pulsa yang dihasilkan dari sebuah pulse transmitter yang setara dengan volume gas. Volume yang ditunjukkan adalah volume aktual yang mengalir di pipa dengan tekanan dan temperatur aliran. Profile aliran swirl, turbulensi dan asimetri yang tidak dikehendaki sebelum gas mencapai rotating turbine wheel. Dynamic force dari gas yang mengalir menyebabkan rotor berputar.

*Pressure drop* dan kerugian head dalam pipa tergantung pada tegangan dinding geser ( $\tau_w$ ), antara fluida dan permukaan pipa. Perbedaan mendasar antara aliran laminar dan turbulen adalah bahwa tegangan geser. Untuk aliran turbulen adalah fungsi densitas fluida ( $\rho$ ). Untuk aliran laminar, kerapatan tegangan geser independen, meninggalkan viskositas ( $\mu$ ), yang penting adalah properti dari fluida. Dengan demikian, penurunan tekanan ( $\Delta p$ ) untuk aliran turbulen, dalam pipa aliran dalam pipa horizontal diameter ( $D$ ) dapat ditulis dalam bentuk fungsional sebagai<sup>10</sup>

$$\Delta p = F(\bar{u}, D, \ell, \varepsilon, \mu, \rho) \quad (2.1)$$

Dimana,

$\Delta p$  = pressure drop

$\bar{u}$  = kecepatan rata-rata fluida

$D$  = diameter pipa

$\ell$  = panjang pipa

$\varepsilon$  = kekasaran permukaan dinding pipa

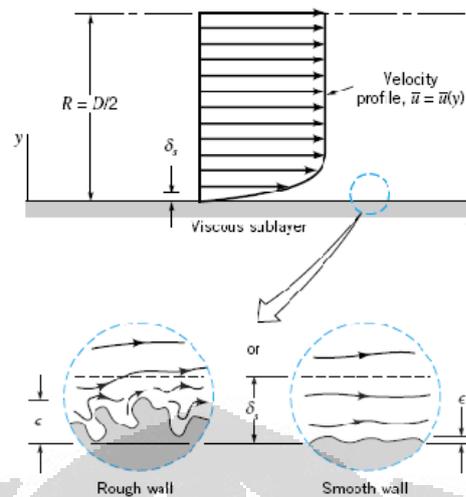
$\mu$  = viskositas

$\rho$  = density

---

<sup>9</sup> *Turbine Gas Meter handbook*, Instromet, 2000.

<sup>10</sup> Munson, Young, Okiishi, *Fundamentals of fluid Mechanics*, Fourth Edition, 2003



**Gambar 2.1** aliran di viscous sublayer dekat dinding kasar dan dinding halus (Munson, 1996)

Gambar 2.1 aliran di viscous sublayer dekat dinding kasar dan dinding halus. Tentu saja, untuk pipa dengan besar kekasaran, ( $\epsilon/D \geq 0.1$ ) dinding seperti pipa bergelombang atau kasar, aliran fluida merupakan fungsi dari kekasaran. Kita akan mempertimbangkan hanya diameter pipa konstan dengan kekasaran khas direntang  $0 \leq \epsilon/D \leq 0.05$ . Kita akan menganalisis aliran dalam pipa berdinding kasar dengan pipa berdiameter konstan. Ada hubungannya fungsi faktor gesekan ( $f$ ) terhadap Bilangan Reynolds ( $Re$ )

### 2.1.1 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan rasio antara gaya inersia terhadap gaya *viscous*. Pada tahun 1880 M, seorang insinyur Inggris, Osborne Reynolds mempelajari transisi antara aliran laminar dan turbulen di dalam pipa. Dia menemukan parameter dalam bentuk persamaan<sup>1</sup>,

$$Re = \frac{\rho \bar{u} D}{\mu} \quad (2.2)$$

Dimana,

$Re$  = bilangan Reynolds

$\rho$  = density

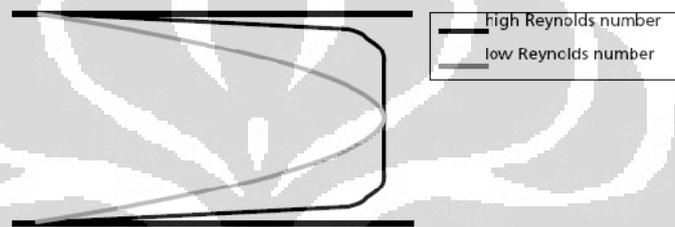
<sup>1</sup> Munson, Young, Okiishi, *Fundamentals of fluid Mechanics*, Fourth Edition, 2003

$D$  = diameter dalam pipa (m)

$\mu$  = viskositas dinamik (Pa.s)

$\bar{u}$  = kecepatan rata-rata (m/s)

Velocity profile dipipa ditentukan oleh Reynold number ( $Re$ ). Angka ini dihitung dari kecepatan flow, diameter pipa, density dan dynamic viscosity gas dari flowing medium. Untuk Reynold number rendah flow laminar, dengan parabolic profile, sedangkan untuk Reynold number tinggi, flow menjadi turbulen dengan logaritmik profile, Transisi dari laminar ke turbulent terjadi diantara Reynold number<sup>11</sup> 2300 dan 4000. Gambar 2.2 menggambarkan profile kecepatan untuk low dan high Reynolds number.



**Gambar 2.2** Profile kecepatan untuk *low and high Reynolds numbers* (Brosure turbine meter, 2000)

Oleh karena itu, turbulent profile umumnya ditemukan di sistim transmisi gas alam. Karena adanya belokan belokan, perubahan bidang, flow profile selalu rusak. Satu elbow menginduksikan dual eddy pattern, yang mempunyai dua vortis berputar berlawanan arah pada masing masing sisi dari garis tengah bidang dari elbow.

### 2.1.2 Faktor gesekan (*friction factor*)

Faktor gesekan ini merupakan fungsi dari bilangan Reynolds, karena nilainya bergantung pada jenis aliran fluida. Untuk aliran pada pengujian turbine meter bilangan Reynolds untuk gas. Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran fluida yang memiliki bilangan Reynolds ( $Re$ )  $> 4000$ , sedangkan aliran viskous didefinisikan sebagai aliran fluida yang memiliki bilangan Reynolds ( $Re$ )  $< 2300$ . Adapun aliran yang memiliki bilangan Reynolds<sup>8</sup> antara 2300 sampai 4000 didefinisikan sebagai aliran transisi.

<sup>11</sup> Munson, Young, Okiishi, *Fundamentals of fluid Mechanics*. Fourth Edition, 2003

Jika  $Re < 2300$ , maka<sup>12</sup>

$$f = 64 Re^{-1} \quad (2.3)$$

Jika  $Re > 4000$ , maka<sup>3</sup>

$$f = 0,3164 Re^{-0,25} \quad (2.4)$$

Jika  $2300 \leq Re \leq 4000$ , maka faktor gesekannya dihitung dengan metoda interpolasi. Kondisi interpolasi ini dapat dilihat pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Rumus *Friction Factor* Berdasarkan Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds (Re)	Faktor Gesekan (f)
<2300	$64 Re^{-1}$
Re	f
>4000	$0.3164Re^{-0.25}$

Dimana,

Re = bilangan Reynolds

f = faktor gesekan (*friction factor*)

## 2.2 Hukum gas ideal

Gas sangat mudah dimanipulasi dibanding zat cair, dimana perubahan kerapatan gas berubung langsung dengan perubahan tekanan dan temperature melalui persamaan<sup>13</sup>,

$$p = \rho R T \quad (2.6)$$

Dimana,

p = tekanan mutlak (Pa)

$\rho$  = kerapatan ( $kg/m^3$ )

T = temperature mutlak (K)

R = konstanta gas

<sup>12</sup> Frank M. White, *Mekanika Fluida*, fifty edition, 1988

<sup>13</sup> Munson, Young, Okiishi, *Fundamentals of fluid Mechanics*. Fourth Edition, 2003

Persamaan diatas disebut sebagai hukum gas ideal atau gas sempurna, atau persamaan keadaan gas ideal. Perilaku diketahui sangat mendekati perilaku gas riil di bawah kondisi yang normal apabila gas-gas tersebut tidak mendekati keadaan pencairnya.

Tekanan dalam sebuah fluida dalam keadaan diam di definisikan sebagai gaya normal per satuan luas yang diberikan pada sebuah permukaan bidang (nyata atau semu) yang terendam dalam fluida dan terbentuk dari tumbukan permukaan tersebut dengan molekul-molekul fluida. Dari definisi  $FL^{-2}$  dan dalam satuan BG dinyatakan sebagai  $lb/ft^2$  (psf) atau  $lb/in^2$  (psi) dan dalam satuan SI sebagai  $N/m^2$ . Dalam SI,  $1 N/m^2$  didefinisikan *pascal*, di singkat Pa dan tekanan biasanya dinyatakan dalam pascal. Tekanan dalam gas ideal dinyatakan dalam *mutlak*, yang berarti bahwa tekan tersebut di ukur relatif terhadap tekanan nol mutlak (tekanan yang hanya terjadi dalam suatu ruang hampa) tekanan atmosfer standar pada permukaan air laut (menurut kesepakatan internasional) adalah 14,696 psi (abs) atau 101,33 kPa. Untuk kebanyakan perhitungan, tekanan ini dapat dibulatkan masing-masing menjadi 14,73 psi (abs) dan 101 kPa. Dalam bidang tehnik, biasanya diterapkan pengukuran tekanan relative terhadap tekanan atmosfer lokal, dan apabila kita mengukur dengan cara ini hasilnya disebut tekanan ukur (*gage pressure*). Jadi tekanan mutlak dapat diperoleh dari tekan ukur dengan menambahkan nilai dari tekanan atmosfer. Contoh, sebuah tekanan 30 psi (*gage*) dari sebuah pipa sama dengan 14,73 psi (abs) pada tekan atmosfer standar.

Kostanta gas (R), akan muncul dari persamaan  $p = \rho R T$  tergantung dari masing- masing gas dan berhubungan dengan berat molekul dari gas. Nilai kostanta gas dan berhubungan dengan berat molekul gas. Nilai kostanta gas untuk beberapa gas yang umumnya di berikan. Karena kostanta gas (udara) dalam keadaan setimbang dianggap kostanta gasnya (R) dianggap 1.

$$(P_f)(V_f) = (Z_f)(N)(R)(T_f) \quad \text{untuk kondisi mengalir}^2 \quad (2.7)$$

Dan

$$(P_b)(V_b) = (Z_b)(N)(R)(T_b) \quad \text{untuk kondisi base}^2 \quad (2.8)$$

<sup>2</sup> AGA report No. 7, *Measurement of Fuel Gas by Turbine Meters*, Washington, DC. 1981.

Dimana,

$P_f$  = pressure absolute kondisi mengalir (psia)

$P_b$  = pressure absolute kondisi base (psia)

$V_f$  = volume kondisi mengalir ( $m^3$ )

$V_b$  = volume kondisi base ( $m^3$ )

$Z_f$  = compressibility factor kondisi mengalir

$Z_b$  = compressibility factor kondisi base

$N$  = jumlah dari mol gas

$T_f$  = temperature absolute kondisi mengalir ( $^{\circ}R$ )

$T_b$  = temperature absolute kondisi base ( $^{\circ}R$ )

$R$  = constanta gas

Dimana  $R$  constan untuk gas dengan mengabaikan tekanan ( $P$ ) dan temperature ( $T$ ) dan jumlah mol gas ( $N$ ), dari persamaan 2.7 dan 2.8 di dapat persamaan<sup>3</sup>

$$V_b = V_m \times \frac{P_f}{P_b} \times \frac{T_b}{T_f} \times \frac{Z_b}{Z_f} \quad (2.9)$$

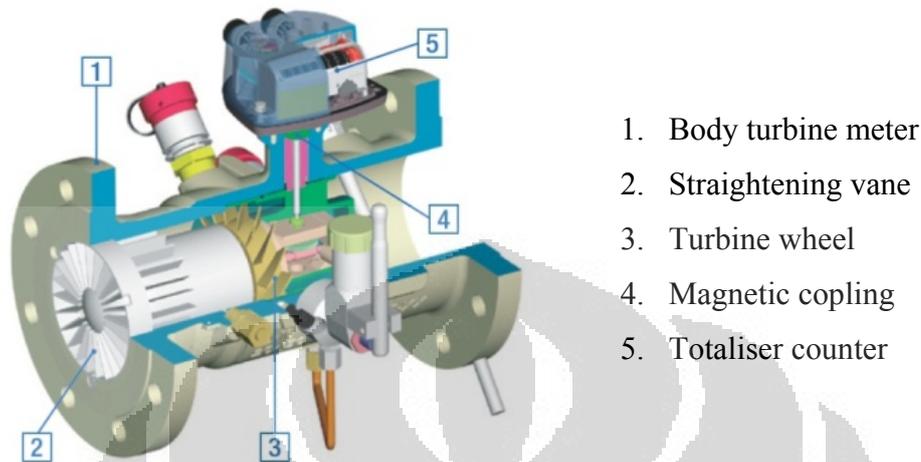
Dimana pressure absolute kondisi base psia ( $P_b$ ) 14.73 psia, dan temperature absolute base ( $T_b$ ) 60 $^{\circ}F$

### 2.3 Prinsip Kerja Turbine Meter

Prinsip kerja *turbine meter* adalah ketika fluida gas mengalir melalui pipa diasumsikan profil aliran yang diinginkan bergerak seragam dengan kecepatan terbesar dekat pusat pipa profile aliran swirl turbulensi dan asimetri yang tidak dikehendaki sebelum gas mencapai rotating turbine. Fluida gas melalui meter berbenturan dengan turbine blade yang bebas berputar pada suatu poros sepanjang garis pusat dari turbin housing. Dynamic force dari gas yang mengalir menyebabkan rotor berputar. Turbine wheel dipasang di shaft utama dengan bantalan khusus, presisi dan friksinya rendah. Turbine wheel mempunyai helical blades yang besudut tertentu dengan arah flow. Gas terkondisi dan terakselerasi menggerakkan turbine wheel dengan angular velocity yang proporsional dengan gas velocity. Rotasi turbine wheel pada akhirnya menggerakkan mechanical counter di index head yang dihubungkan secara mekanis. Rotasi turbine wheel

<sup>3</sup> AGA report No. 7, *Measurement of Fuel Gas by Turbine Meters*, Washington, DC. 1981.

juga bisa menggerakkan pulse transmitter dan menghasilkan pulsa untuk setiap putaran turbine blade. Dengan mengakumulasi pulsa maka total volume dari gas dapat dihitung. Gambar 2.3 merupakan bagian – bagian dari *turbine meter*.



**Gambar 2.3** Gas Turbine Meter  
(Brosur *Turbin Meter*, 2010)

#### 2.4 Konversi Volume

Volume yang dihitung oleh *turbine meter* adalah volume dengan tekanan dan temperatur aktual yang mengalir di meter itu. Penjualan menghitung volume gas berdasarkan pada volume kondisi standart dengan tekanan base (14,73 psia) dan temperatur base (60°F), sehingga volume aktual ini harus di konversikan ke volume kondisi standard dengan memakai rumus<sup>14</sup>,

$$V_b = V_m \times \frac{P_f}{P_b} \times \frac{T_b}{T_f} \times \frac{Z_b}{Z_f} \quad (2.10)$$

Dimana,

$V_b$  = Volume pada kondisi standard (m<sup>3</sup>)

$V_m$  = Volume pada kondisi flowing (m<sup>3</sup>)

$P_b$  = Absolute Base Pressure (14.73 psia)

$P_f$  = Flowing Pressure (psia)

$T_b$  = Absoulte Base Temperature ( 60°F)

$T_f$  = Flowing Temperature (°F)

$Z_b$  = Base Compressibility Factor

$Z_f$  = Flowing Compressibility Factor

<sup>14</sup> AGA report No. 7, *Measurement of Fuel Gas by Turbine Meters*, Washington, DC. 1981.

## 2.5 Index Head

Setiap index head dilengkapi dengan high quality bearings dan polish gear untuk friksi rendah. Untuk memastikan setiap putaran dari mechanical counter sesuai dengan volume tertentu dan dilakukan flow test final di pabrik. Sebagai bagian dari test ini, ratio dari gear diperiksa dan kalau perlu di setel lagi. Gear ini didalam index head, dan index head di segel untuk menghindari penyetlen oleh orang yang tak berwenang.

Mechanical counter mentotalkan volume aktual yang melalui meter. Delapan digit besar dari counter ini menunjukkan nilai total volume. Index head dapat diputar 350<sup>0</sup> tanpa merusak segel.

Gas turbine disupply dengan dua atau lebih pulse transmitter. Signal pulsa dapat dihubungkan ke flow computer atau flow converter. Ada dua tipe pulse transmitter, *Low Frequency* (LF) reed switch dan *High Frequency* (HF) proximity sensor<sup>15</sup>. Jika meter dilengkapi dengan pulse trasnmitter yang dibody meter, maka ini adalah dari tipe proximity sensor.



**Gambar 2.4** *Index Head Counter*  
(Brosur *Turbin Meter*,2010)

## 2.6 Instalasi

*Turbine meter* adalah instrument metering yang presisi pada MRS (Metering Regulating Station) dapat liat di gamabar 2.5, dapat bekerja dengan efisien bila hal hal berikut diperhatikan,

<sup>15</sup> *Turbine Gas Meter handbook*, Instromet, 2000.

### 2.6.1 Sistem Lubrikasi dan Pelumasan Sebelum Start Up

Gas alam tidak mempunyai sifat alamiah pelumasan, oleh sebab itu rotor dari *turbine meter* harus dilengkapi dengan sistem pelumasan dan pompa. Besar pompa dihitung berdasarkan ukuran dari turbine meter.

- a. Pompa oli yang kecil dioperasikan dengan *push button*
- b. Pompa oli yang besar dioperasikan dengan gagang.

Sebagai option turbine meter besar (10 inch) dilengkapi dengan bearing yang sudah ada pelumas abadinya sehingga tidak diperlukan pompa oli lagi.

Sistem lubrikasi dirancang harus dapat melawan tekanan gas yang besar tanpa adanya kebocoran dan dengan stroke yang ringan. Pada pompa oli dilengkapi dengan check valve, demikian juga di line yang menuju ke turbine meter. Sistem lubrikasi harus dapat bekerja pada kondisi yang jelek sekalipun. Anti freeze di sistem lubrikasi mencegah pembekuan air yang terkandung di oli bila temperature gas rendah. Bearing di turbine meter diberikan oli secukupnya saja untuk shipment dan initial start up. Pelumasan harus rutin diberikan sesudahnya.



**Gambar 2.5** MRS (Metering Regulating Station) instalasi *turbine meter* sesuai dengan rekomendasi dari AGA report No.7

### 2.6.2 Pipa *Upstream* dan *Downstream*

Untuk hasil yang baik, turbine meter harus dipasang pada bagian pipa lurus sebesar ukuran nominal *turbine meter*. Panjang dari pipa lurus ini 10 kali

ukuran nominal pipa di *upstream* dan 5 kali ukuran nominal pipa di *downstream* sesuai dengan rekomendasi dari AGA report No.7. Sumbu meter harus segaris dengan sumbu dari pipa. *International Gas Turbine Meter (IGTM)* dengan menggunakan *integrated straightening vane* memerlukan panjang *upstream* 2 nominal pipe diameter untuk *custody transfer*, akan tetapi untuk hasil yang bagus, direkomendasikan panjang *upstream* 5 nominal pipe diameter<sup>16</sup>. Gasket di inlet dan outlet meter harus tidak menonjol kedalam pipa. Pipe fittings, valve, filter, control valve, reducer, T piece, bends diwajibkan minimum 5 nominal diameter dari inlet meter. *Downstream* pipe harus sedikitnya 1 nominal pipe diameter atau yang bagus 3 nominal pipe diameter. Temperature sensor harus diletakan di bagian *downstream*.

### 2.6.3 Arah Flow dan Orientasi Meter

Arah flow sesuai dengan yang ditunjukkan di meter dan arah index head adalah untuk arah flow dari kiri kekanan secara default. Hati-hati *Reverse flow* dapat merusak meter. Flow meter dirancang untuk pemasangan horizontal. Meter sampai dengan 6 inchi dapat dipasang vertical, asalkan pompa oli disesuaikan arahnya.

### 2.6.4 Pressure Connection

Pressure connection tersedia di badan meter sebagai koneksi ke pressure transmitter untuk static pressure yang diambil di *upstream* dari turbine wheel. Pengukuran tekanan ditandai dengan Pr atau Pm (*pressure at metering condition*). Static pressure diperlukan untuk konversi volume dari kondisi aktual ke kondisi standard (dibeberapa negara disebut kondisi normal) di flow computer atau flow converter. Titik Pr atau Pm ini dipakai pada penetapan kurva kalibrasi meter, dan untuk *custody transfer* harus dipakai untuk pengukuran tekanan dari titik ini, sebab bila diambil dari titik lain, maka akan terjadi error kecil. Bila selama turbine meter tidak dipakai, titik ini harus ditutup untuk mencegah uap air masuk, yang dapat membuat karat diinternal part turbine meter.

---

<sup>16</sup> AGA report No. 7, *Measurement of Fuel Gas by Turbine Meters*, Washington, DC. 1981.

### 2.6.5 Temperature Connection

Temperature sensor dipasang dengan thermowell dan diletakan dari 1 sampai dengan 3 kali nominal diameter pipa. Harus tidak ada pressure drop diantara tempat thermowell diletakan. Temperature sensor harus dipasang minimum 1/3 diameter pipa. Jika temperature sensor diletakan dengan jarak 1 sampai dengan 3 kali nominal diameter pipa maka temperature gas akan terpengaruh dengan pressure drop, jika terpengaruh pressure drop maka temperature lebih rendah dengan temperate gas sebenarnya

### 2.6.6 Pengukuran Density

Jika *online* density meter diperlukan, maka harus dipasang dengan mengikuti persyaratan pemasangan pressure dan temperature sensor. Kebanyakan density meter dipasang didalam pocket yang dilas ke pipa. Kebanyakan density meter dipasang di downstream antara 3 s/d 5 pipe nominal diameter. Inlet density meter harus diambil dari pressure connection yang ada di badan meter, agar pembacaan density aktual akurat. Base density dapat diambil dimana saja di line asalkan tekanan dan temperaturnya sama dengan yang di meter.

### 2.6.7 K-Factor

K-factor untuk flow computer atau flow converter ada di label yang melekat di badan turbine meter. Nilai K-factor ini sama dengan yang di calibration certificate yang didapat dari hasil kalibrasi di pabrik. Nilai ini yang harus dipakai di flow computer untuk menghitung actual flow. K-factor dinyatakan dalam pulse/m<sup>3</sup> atau kadang kadang m<sup>3</sup>/pulse

## 2.7 Operasi

### 2.7.1 Akurasi

Limit akurasi standard untuk turbine meter sesuai dengan peraturan arahan EC dan banyak negara lain<sup>17</sup>:

+/- 1% untuk flow 0.2Q<sub>max</sub> sampai Q<sub>max</sub>

+/- 2% untuk flow Q<sub>min</sub> sampai 0.2 Q<sub>max</sub>

<sup>17</sup> *Turbine Gas Meter handbook*, Instromet, 2000.

Pilihan untuk *custody transfer*, akurasi dapat di perbaiki menjadi<sup>18</sup>.

+/- 0.5% untuk flow  $0.2Q_{\max}$  sampai  $Q_{\max}$

+/- 1% untuk flow  $Q_{\min}$  sampai  $0.2 Q_{\max}$

### 2.7.2 Repeatability

Repeatability dari International Gas Turbine Meter adalah +/- 0.1%. Limit akurasi ini berlaku untuk kondisi ambient air, untuk kondisi high pressure akurasi dan turn down ratio menjadi lebih baik.

### 2.7.3 Operating Flow Range

Flow range dari IGTM sesuai persetujuan dari EC adalah 1:20 ( $Q_{\min}$ :  $Q_{\max}$ ). Range ini adalah standard performance pada kondisi suhu lingkungan. Dengan meter ukuran lebih kecil (2" dan 3") dengan design special dan low relative density gas ( $< 0.6$ ) range dibatasi jadi 1:10 atau 1:5. Meter dengan meningkatkan range (1:50) tersedia untuk ukuran tertentu. Meter meter ini dipersiapkan khusus dan dilengkapi dengan low friction bearings. Turbine meter tetap dapat beroperasi pada flow dibawah minimum, tetapi akurasi jauh berkurang.

### 2.7.4 Overload

*Turbine meter* dibolehkan bekerja *overload* untuk waktu yang terbatas, dan perlahan tanpa adanya kejutan aliran gas. *Overload* yang diijinkan sampai 20% diatas dari  $Q_{\max}$ .

#### a. Temperature Range

Temperature range yang standard adalah dari  $- 10^{\circ}\text{C}$  sampai  $+ 60^{\circ}\text{C}$  dari gas dan ambient air.

#### b. Pressure Maximum

Flange rating dan maximum pressure dari turbine meter ditunjukkan di name plate dan meter certificate. Tabel 2.2 merupakan maximum working pressure *turbine meter*

**Tabel 2.2** Maximum working Pressure *turbine meter*

Flange Rating	Maximum Working Pressure [Bar absolute]
ANSI 150	20

<sup>18</sup> *Turbine Gas Meter handbook*, Instromet, 2000.

### c. Pressure Loss

Pressure loss pada tekanan dan temperatur aktual dapat dihitung dari rumus dibawah ini<sup>19</sup>,

$$\Delta P_f = \Delta P_r \cdot \frac{\rho_f}{\rho_r} \cdot \left(\frac{Q_f}{Q_r}\right)^2 \quad (2.11)$$

Dimana,

$\Delta P_f$  = Pressure loss pada kondisi aktual (mBar)

$\Delta P_r$  = Pressure loss pada kondisi reference (mBar)

$\rho_f$  = Density pada kondisi aktual (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_r$  = Density pada kondisi reference (0.8 kg/m<sup>3</sup>) natural gas

$Q_f$  = Flow rate pada kondisi aktual (m<sup>3</sup>/h)

$Q_r$  = Flow rate pada kondisi reference (m<sup>3</sup>/h)

Table 2.3 menunjukkan pressure loss *turbine meter* dari bermacam – macam type turbine meter.

**Tabel 2.3** Pressure loss *Turbine Meter*

Nominal diameter [mm] [inch]	Size rating	Qmax [m <sup>3</sup> /h]	Qmin (standard flow range) [m <sup>3</sup> /h]	Gas velocity at Qmax (in standard piping Schedule 40) [m/s]	Pressure loss with natural gas of 1.0 bar abs at specified flow rate [mbar]		
					50 % Qmax	80 % Qmax	100 % Qmax
DN 50 (2")	G 40	65	13	8,3	1,4	3,5	5,5
	G 65	100	10	12,8	2,9	7,5	11,7
DN 80 (3")	G 100	160	16	8,3	0,9	2,4	3,7
	G 160	250	13	13,0	2,2	5,5	8,6
	G 250	400	20	20,7	3,4	8,8	13,8
DN 100 (4")	G 160	250	13	8,4	0,8	2,0	3,1
	G 250	400	20	13,5	1,7	4,3	6,8
	G 400	650	32	22,0	2,7	6,9	10,8
DN 150 (6")	G 400	650	32	9,7	0,8	2,0	3,1
	G 650	1000	50	14,9	1,8	4,5	7,1
	G 1000	1600	80	23,8	2,8	7,2	11,3
DN 200 (8")	G 650	1000	50	8,6	0,6	1,6	2,5
	G 1000	1600	80	13,8	1,1	2,8	4,3
	G 1600	2500	130	21,5	2,5	6,5	10,2
DN 250 (10")	G 1000	1600	80	8,7	0,6	1,6	2,5
	G 1600	2500	130	13,7	1,2	3,2	4,9
	G 2500	4000	200	21,8	2,0	5,0	7,9
DN 300 (12")	G 1600	2500	130	9,5	0,6	1,6	2,5
	G 2500	4000	200	15,2	1,2	3,2	4,9
	G 4000	6500	320	24,7	2,0	5,0	7,9
DN 400 (16")	G 2500	4000	200	9,4	0,6	1,6	2,5
	G 4000	6500	320	15,4	1,2	3,2	4,9
	G 6500	10000	500	23,6	2,2	5,5	8,6

(Brosure *turbine meter*, 2000)

<sup>19</sup> AGA report No. 7, *Measurement of Fuel Gas by Turbine Meters*, Washington, DC. 1981.

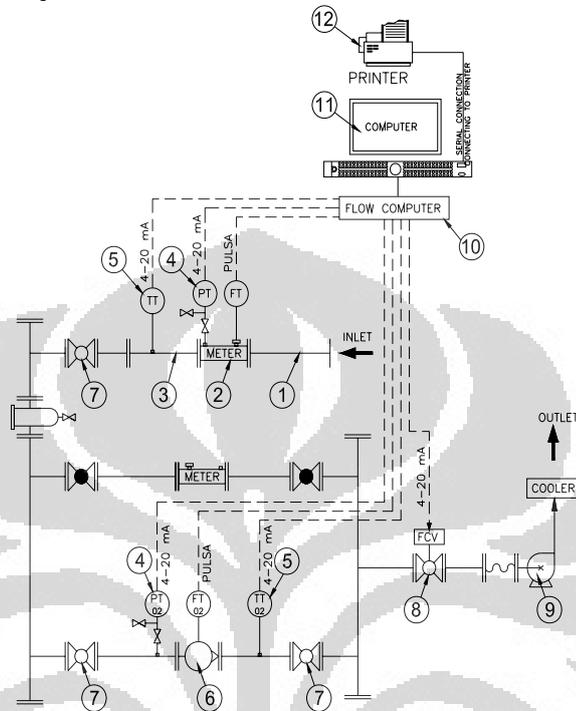
#### d. Gas Composition dan Flow Condition

Turbine IGTM standard dapat digunakan untuk semua non aggressive gas seperti gas alam, metan, propan butan, udara, nitrogen, dan lain lain. Special design dapat dibuat untuk aggressive gas seperti bio gas dan oxygen. Jangan gunakan standard meter untuk gas- gas ini. Konsultasi dengan pabrik pembuat *turbine meter* untuk aplikasi aggressive gas. Gas turbine mencapai potensi penuh ketika rotor turbine mendapat aliran yang *uniform* dan velocity yang tidak terganggu didalam meter housing. Integrated flow conditioner dirancang untuk memenuhi kondisi tes pertubasi EN.12261, ISO 9951, dan OILM R32 dan menciptakan kondisi flow yang stabil di rotor turbine. Pada praktek, performance turbine meter juga sedikit tergantung pada instalasi. *Pulsating* flow dan *intermittent* flow harus dihindari. Fluktuasi pressure yang besar dan cepat juga harus dihindari. Pada waktu mengisi pipa dengan gas, selalu lakukan penambahan tekanan dan *flow* dengan perlahan untuk mencegah overloading. Buka valve hati hati dan perlahan. Lebih baik bila ada bypass line di valve yang besar. *Pulsating* atau *intermittent flow* mengakibatkan under atau over registration karena rotor inertia dan membuat positive error. Vibrasi yang besar dari piping system karena flow juga harus dihindari. Gas harus bebas dari kontaminan, air, kondensat, dan partikel. Hal ini dapat merusak bearing dan rotor. Bila debu terkumpul untuk waktu yang lama punya akibat yang jelek ke akurasi meter. Gas yang kotor harus difilter dengan filter 5 micron.

*Turbine meter* harus di lubrikasi secara berkala, lihat instruction manual. Seringkali turbine meter dirancang kebesaran untukantisipasi penambahan flow dimasa depan atau fluktuasi musiman. Bila turbine meter beroperasi dibawah minimum flow ratenya maka akan terjadi error negatif.

## BAB 3 PERANGKAT DAN ASPEK PENGUJIAN

### 3.1 Skematik Alat Uji



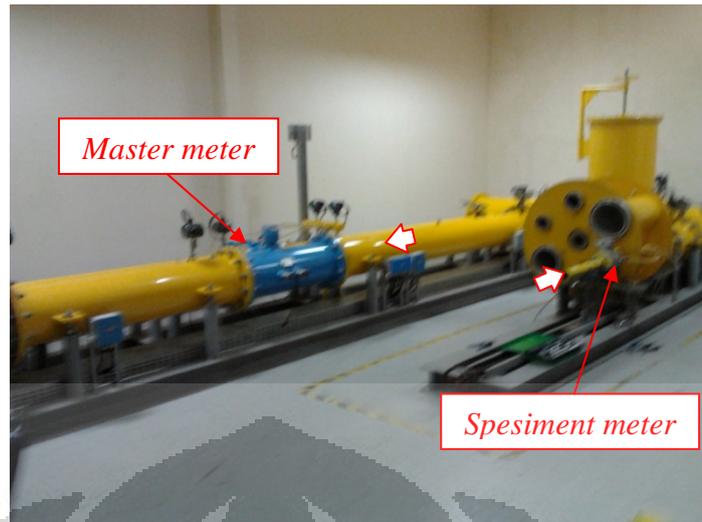
**Gambar 3.1** skematik alat uji

Dalam penelitian ini dapat di lihat pada gambar skematik alat uji pada gambar 3.1.

Komponen- komponen yang digunakan pada skematik alat uji yaitu,

- |                                       |                              |
|---------------------------------------|------------------------------|
| 1. Pipa <i>upstream</i>               | 7. <i>Butterfly valve</i>    |
| 2. <i>Turbin meter</i> (spesiment)    | 8. <i>Control valve</i>      |
| 3. Pipa <i>downstream</i>             | 9. <i>Centrifugal blower</i> |
| 4. <i>Pressure transmitter</i>        | 10. <i>Flow Computer</i>     |
| 5. <i>Temperature transmitter</i>     | 11. <i>Computer</i>          |
| 6. <i>Rotary meter</i> (master meter) | 12. <i>Printer</i>           |

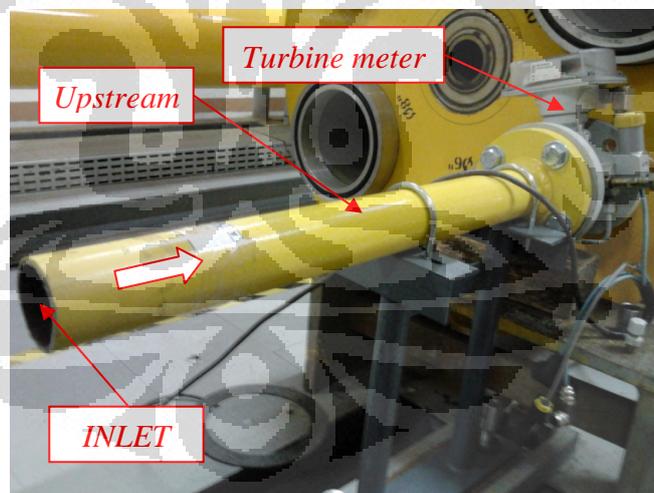
Untuk mengetahui pengaruh kekasaran dinding pipa terhadap akurasi pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*. Maka perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan perangkat alat uji untuk memperoleh data- data yang diperlukan. Gambar 3.2 merupakan alat uji *turbine meter* kalibrator. Selanjutnya data- data tersebut diolah sehingga dapat diketahui karakteristik flow pada masing- masing kondisi pengujian.



Gambar 3.2 alat uji *turbine meter* kalibrator

### 3.2 Kondisi pengujian

Berdasarkan tujuan pengujian, perangkat alat uji ini digunakan untuk melakukan pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*. Aliran gas yang diukur oleh *turbine meter* akan dibandingkan dengan flow yang diukur dengan *rotary meter*.



Gambar 3.3 pipa *upstream turbine meter*

Dengan mengganti pipa *upstream* dari *turbine meter* kita dapat, mempelajari hubungan antara kekasaran dinding pipa *upstream* dengan akurasi pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*. Pipa *upstream* dapat dilihat pada gambar 3.3

Fluida yang digunakan untuk pengujian adalah udara dengan temperature 19°C - 32°C.

Adapun kondisi pengujian yang dilakukan yaitu:

1. Pipa *upstream*: Pipa 2" A106 Gr.B sch 40 dengan kekasaran dinding pipa (Ra) 4.2  $\mu\text{m}$ , diameter luar pipa 60.3 mm, inside diameter pipe 52.48 mm dengan panjang pipa 610 mm. Flow yang diukur oleh *turbine meter* akan dibandingkan dengan flow yang di ukur dengan *rotary meter* dengan pengaruh pressure dan temperature.
2. Pipa *upstream*: Pipa 2" A106 Gr.B sch 40 dengan kekasaran dinding pipa (Ra) 6.29  $\mu\text{m}$ , diameter luar pipa 60.3 mm, inside diameter pipe 52.48 mm dengan panjang pipa 610 mm. Flow yang diukur oleh *turbine meter* akan dibandingkan dengan flow yang di ukur dengan *rotary meter* dengan pengaruh pressure dan temperature.
3. Pipa *upstream*: Pipa 2" A106 Gr.B sch 40 dengan kekasaran dinding pipa (Ra) 7.35  $\mu\text{m}$ , diameter luar pipa 60.3 mm, inside diameter pipe 52.48 mm dengan panjang pipa 610 mm. Flow yang diukur oleh *turbine meter* akan dibandingkan dengan flow yang di ukur dengan *rotary meter* dengan pengaruh pressure dan temperature.
4. Pipa *upstream*: Pipa 2" A106 Gr.B sch 40 dengan kekasaran dinding pipa (Ra) 7.2  $\mu\text{m}$ , diameter luar pipa 60.3 mm, inside diameter pipe 52.48 mm dengan panjang pipa 610 mm. Flow yang diukur oleh *turbine meter* akan dibandingkan dengan flow yang di ukur dengan *rotary meter* dengan pengaruh pressure dan temperature.

### **Prinsip kerja alat uji**

Setelah power di hidupkan, hidupkan blower maka blower tersebut akan menghisap udara yang masuk kepipa *inlet* atau *upstream pipe*. Seting kecepatan blower sesuai dengan flow yang di inginkan. *Turbin meter* akan berputar mengukur flow yang masuk ke pipa dengan mengirim pulsa 1 imp pulsa akan mewakili 1 M<sup>3</sup> ke *flow computer*. Di body *turbine meter* terdapat *pressure transitter* yang mengukur tekanan udara yang masuk kedalam pipa dengan mengirim signal analog 4 ~ 20 mA dengan range 0 ~ 20 mbar ke *flow computer*. Di *downstream* pipa terdapat *Temperature transmitter* yang mengukur temperature udara yang berada dalam pipa dengan mengirim signal analog 4 ~ 20

mA dengan range 0 ~ 50°C ke *flow computer*. Aliran gas yang melewati *turbine meter* dapat terukur dengan koreksi pressure dan temperature di *flow computer*. Pengukuran aliran gas yang di ukur oleh *turbine meter* akan di bandingkan dengan pengukuran *rotary meter*. Udara yang masuk kedalam pipa setelah di melewati *turbine meter* akan diukur kembali oleh *rotary meter*. Udara yang masuk de dalam pipa mengakibatkan rotary berputar. *Rotary meter* menghasilkan pulsa 1 imp akan mewakili 1 m<sup>3</sup> ke *flow computer*. Di pipa *downstream* terdapat *pressure transmitter* yang mengukur tekanan udara yang masuk de dalam pipa dengan mengirim signal analog 4 ~ 20 mA dengan range 0 ~ 80 mbar ke *flow computer*. Di *downstream* pipa rotary terdapat temperature transmitter yang mengukur temperature udara yang berada dalam pipa dengan mengirim signal analog 4 ~ 20 mA dengan range 0 ~ 80°C ke *flow computer*. Di *flow computer* akan mengkalkulasi flow dari *turbine meter* maupun *rotary meter*. Udara yang masuk ke dalam pipa akan di keluarkan kembali oleh blower kemudian masuk ke cooler kembali ke ruangan pengujian. Flow computer akan mengirim signal modbus ke computer. Di computer terinstal HMI (Human Macine Interface) gunanya untuk mengendalikan semua instrumensasi. Printer akan mencetak hasil pengujian.

### Mengukur kekasaran ampelas

Untuk mengetahui nilai kekasaran ampelas diambil nilai *roughness avarange* (Ra), maka ampelas dapat di ukur kekasaranya dengan alau ukur surfcom 120A dapat kita lihat gambar 3.4. Tabel 3.1 merupakan spesifikasi alat ukur kekasaran dalam mengukur kekasaran atau *roughness avarange* (Ra) ampelas yang nantinya di gunakan untuk melapisi permukaan dalam pipa alat uji.

**Table 3.1** Spesifikasi alat ukur kekasaran

Alat Ukur Kekasaran	
Alat ukur	: Surface Roughness Charts
Merk	: Mitutoyo
type	: Surfcom 120A
<i>Roughness avarange</i> (Ra)	: $\mu\text{m}$



**Gambar 3.4** alat ukur kekasaran (surfcom 120A)

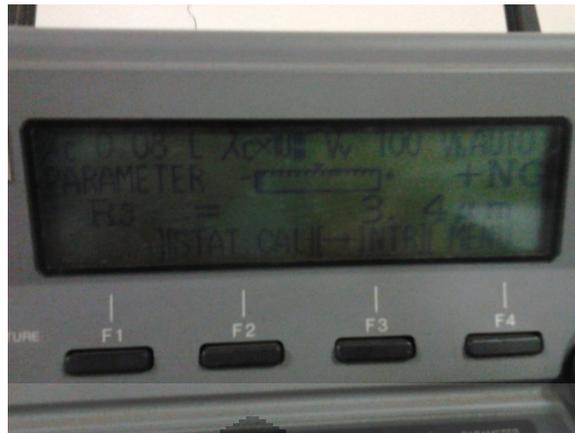


**Gambar 3.5** roughness specimen E-MC-824A

Sebelum melakukan pengukuran kekasaran ampelas maka surfcom 120A perlu di kalibrasi. Gambar 3.5 adalah *roughness specimen* E-MC-824 untuk mengkalibrasi pembacaan pengukuran kekasaran dengan surfcom 120A.



**Gambar 3.6** pengukuran ampelas dengan surfcom 120A



**Gambar 3.7** merupakan parameter dan hasil pengukuran *roughness average* (Ra) dengan surfcom 120A

#### **Prosedur kalibrasi pembacaan surfcom 120A**

1. Letakkan *roughness specimen* E-MC-824A pada dudukan yang datar.
2. Atur ketinggian stylus supaya parameter datum yang terdapat pada amplifier indicator berada pada tengah stylus yang artinya tidak terlalu menekan objek dan juga tidak menjaui objek uji. Parameter surfcom 120A dapat kita lihat pada gambar 3.7.
3. Tekan tombol measure untuk mengetahui nilai kekasaran *roughness specimen* E-MC-824A
4. Bandingkan nilai kekasaran *roughness specimen* E-MC-824A dengan nilai pada hasil pembacaan pengukuran surfcom 120A, nilai kekasaran dapat kita lihat pada gambar 3.7.
5. Jika nilai kekasaran atau *roughness average* (Ra) tidak sama, itu berarti nilai kekasaran atau *roughness average* (Ra) pada surfcom 120A akan di kurangi dengan nilai kekasaran *roughness specimen* E-MC-824A yang hasilnya akan digunakan untuk pengurangan atau penambahan nilai kekasaran atau *roughness average* (Ra) dengan hasil ampelas.

#### **Prosedur pengukuran kekasaran atau *roughness average* (Ra) ampelas dengan surfcom 120A**

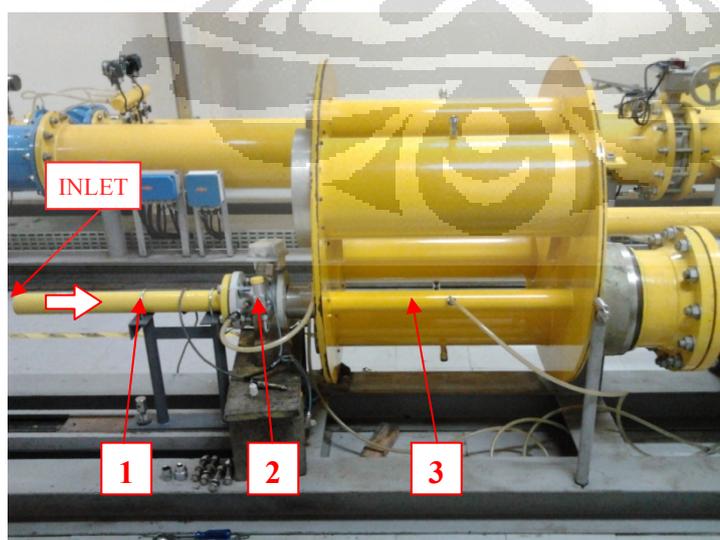
1. Letakkan ampelas dengan menggelem pada dudukan yang datar. Posisi ampelas yang akan diukur kekasarannya dapat kita lihat pada gambar 3.4.

2. Atur ketinggian stylus supaya parameter datum yang terdapat pada amplifier indicator berada pada tengah stylus yang artinya tidak terlalu menekan objek dan juga tidak menjaui objek uji, parameter surfcom 120A dapat kita lihat pada gambar 3.4.
3. Tekan tombol measure untuk mengetahui nilai kekasaran atau *roughness avarange* (Ra) ampelas.
4. Pada layar surfcom 120A menunjukkan nilai kekasaran amampelas dalam  $\mu\text{m}$  (mikro meter), nilai kekasaran atau *roughness avarange* (Ra) ampelas yang akan diukur kekasarannya dapat kita lihat pada gambar 3.4.
5. Nilai kekasaran atau *roughness avarange* (Ra) ampelas pada surfcom 120A akan dikurangi dengan hasil akan nilai pada waktu kalibrasi pembacaan pengukuran surfcom 120A yang hasilnya merupakan nilai dari kekasaran atau *roughness avarange* (Ra) ampelas dalam  $\mu\text{m}$  (mikrometer)

### 3.3 Instalasi alat uji

#### Menentukan spesifikasi komponen-komponen alat uji

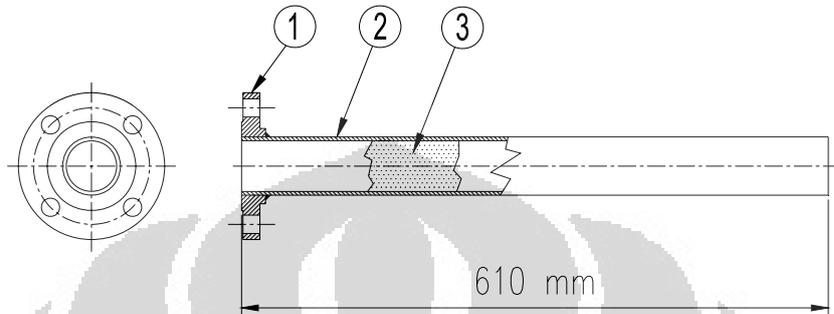
Dalam membuat suatu perangkat pengujian, komponen- komponen yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi pengujian yang akan dilakukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan terhadap beberapa parameter agar spesifikasi komponen yang digunakan dapat memenuhi kebutuhan yang diperlukan pada saat pengujian. Gambar 3.8 Instalasi alat uji pipa *upstream*.



1. *Upstream*
2. *Turbine meter*
3. *Downstream*

**Gambar 3.8** Instalasi alat uji pipa upstream

Gambar 3.9 adalah gambar material pipa upsteam dalam pengujian. Bagian dalam pipa dilapisi dengan ampelas dengan kekasarannya telah di ukur dengan menggunakan surfcom 120A. Untuk merekatkan ampelas kedalam pipa bagian dalam dengan menggunakan lem aibon. Table 3.2 mendunjukkan material yang digunakan dalam pengujian.



**Gambar 3.9** design pipa *upsteam*

**Table 3.2** material pipa *upsteam*

No	keterangan	Material	Ukuran	Jumlah
1	Slip on flange	A105 sch.40	2inch, ANSI150	1
2	Pipe	SA A106 sch.40	2inch, sch40	1
3	Ampelas (merk MCM / ECO)	Silika	Ra 4.2 $\mu\text{m}$ Ra 6.29 $\mu\text{m}$ Ra 7.39 $\mu\text{m}$ Ra 7.2 $\mu\text{m}$	1



**Gambar 3.10** pipa *upsteam*

Pipa *upsteam* yang digunakan dalam pengujian dapat kita lihat di gambar 3.10, dibawah ini spesifikasi pipa *upsteam* alat uji

1. Pipa *upstream* : Pipa 2" A106 Gr.B sch 40 dengan kekasaran dinding pipa (Ra) 4.2  $\mu\text{m}$ , diameter luar pipa 60.3mm, inside diameter pipe 52.48mm dengan panjang pipa 610mm. Flow yang diukur oleh *turbine meter* akan dibandingkan dengan flow yang diukur dengan rotary meter dengan pengaruh pressure dan temperature.
2. Pipa *upstream* : Pipa 2" A106 Gr.B sch 40 dengan kekasaran dinding pipa (Ra) 6.29  $\mu\text{m}$ , diameter luar pipa 60.3mm, inside diameter pipe 52.48mm dengan panjang pipa 610mm. Flow yang diukur oleh *turbine meter* akan dibandingkan dengan flow yang diukur dengan rotary meter dengan pengaruh pressure dan temperature.
3. Pipa *upstream* : Pipa 2" A106 Gr.B sch 40 dengan kekasaran dinding pipa (Ra) 7.35  $\mu\text{m}$ , diameter luar pipa 60.3mm, inside diameter pipe 52.48mm dengan panjang pipa 610mm. Flow yang diukur oleh *turbine meter* akan dibandingkan dengan flow yang diukur dengan rotary meter dengan pengaruh pressure dan temperature.
4. Pipa *upstream* : Pipa 2" A106 Gr.B sch 40 dengan kekasaran dinding pipa (Ra) 7.2  $\mu\text{m}$ , diameter luar pipa 60.3mm, inside diameter pipe 52.48mm dengan panjang pipa 610mm. Flow yang diukur oleh *turbine meter* akan dibandingkan dengan flow yang diukur dengan rotary meter dengan pengaruh pressure dan temperature.
5. *Turbin meter*  
*Turbine meter* banyak dipakai untuk transaksi jual beli gas di Indonesia. *Turbin meter* ini dipasang di konsumen yang memakai gas relatif besar yaitu di Industri. Turbine Meter yang memakai putaran impeller atau rotor untuk mengukur berapa volume gas yang melewati meter tersebut. Volume gas yang mengalir dalam pipa dapat dibaca di mechanical counter yang terpasang diatas turbine meter. Tambahan lagi signal pulsa dapat dihasilkan dari sebuah pulse transmitter yang setara dengan volume gas. Volume yang ditunjukkan adalah volume aktual yang mengalir didalam pipa dengan tekanan dan temperatur aliran. Flow profile dengan swirl, turbulensi dan asimetri yang tidak dikehendaki sebelum gas mencapai rotating turbine wheel. Gambar 3.11 merupakan *turbine meter* G.65 yang di gunakan dalam penelitian



**Gambar 3.11** turbine meter G.65

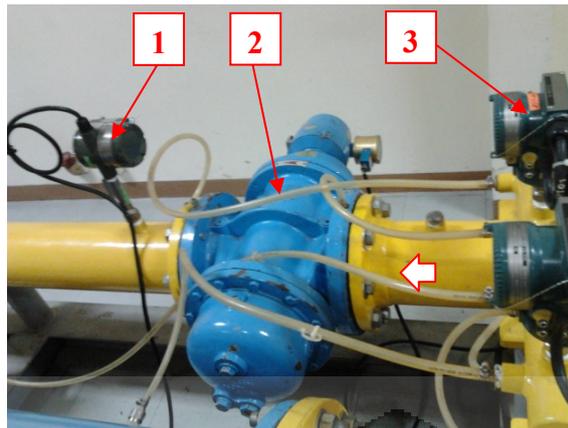
**Table 3.3** spesifikasi turbin meter

<b>TURBINE METER</b>	
Merek	: Actaris
Model	: Fluxi G.65
Ukuran	: 2 inch ANSI 150
Bore diameter	: 52.48 mm
$Q_{max}$	: 100 m <sup>3</sup> /h
$Q_{min}$	: 10 m <sup>3</sup> /h
Akurasi	: +/- 0.5% untuk flow 0.2 $Q_{max}$ sampai $Q_{max}$ +/- 1% untuk flow $Q_{min}$ sampai 0.2 $Q_{max}$
Gas velocity at $Q_{max}$ (standart piping schedule 40)	: 12.8 m/s
Meter output	: Pulse
Meter faktor	: 1 pulse/1 m <sup>3</sup>
Fluida	: Gas
Maksimal Working Pressure	: 19 bar
Maksimal Working Temperature	: 22°C

#### 6. Rotary meter

Di pilih *rotary meter* sebagai master meter untuk pengukuran aliran gas karena,

- a. Rotary meter tidak terpengaruh terhadap profil aliran jadi tidak memerlukan pipa *upstream* dan *downstream*
- b. Daerah ukur ( *Rangeability*) lebih baik dari pada turbine meter yaitu yang 100:1
- c. Akurasi rotary meter sama dengan *turbine meter*,



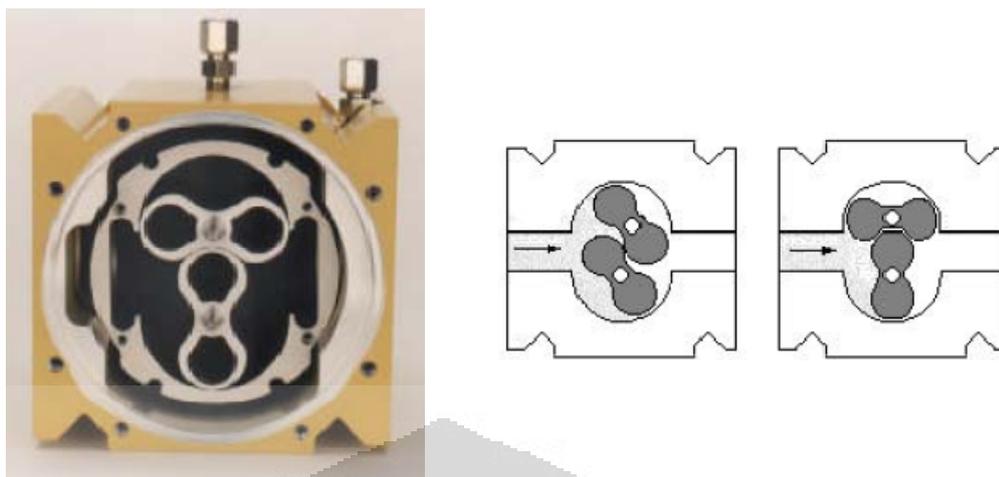
1. Temperature transmitter
2. Rotary meter
3. Pressure transmitter

**Gambar 3.12** rotary meter

Semua meter *rotary piston*, umumnya dikenal sebagai *meter rotary*. Awalnya dirancang untuk aplikasi pompa air, *meter rotary* didesain untuk mengukur aliran gas. Gambar 3.12 merupakan *rotary meter* yang digunakan dalam pengujian. Tabel 3.4 merupakan spesifikasi *rotay meter*

**Table 3.4** spesifikasi *rotay meter*

<b>ROTARY METER</b>	
Merek	: RMG
Model	: Z01-A G.400/16
Ukuran	: 4 inch ANSI 150
Bore diameter	: 52.48 m
$Q_{\max}$	: 650 m <sup>3</sup> /h
$Q_{\min}$	: 8 m <sup>3</sup> /h
Akurasi	: +/- 0.5% untuk flow 0.2 $Q_{\max}$ sampai $Q_{\max}$ +/- 1% untuk flow $Q_{\min}$ sampai 0.2 $Q_{\max}$
Gas velocity at $Q_{\max}$ (standart piping schedule 40)	: 12.8 m/s
Meter output	: Pulse
Meter faktor	: 1 pulse/1 m <sup>3</sup>
Fluida	: Gas
Working Pressure	: 19 bar
Working Temperature	: 22°C



**Gambar 3.13** gerakan impeller  
(brosure rotary mere,2010)

Seperti diilustrasikan dalam gambar 3.13 meter rotary menampilkan dua counter rotating "angka 8" atau lobed impeller. Impeller membentuk ruang antara dinding meter. Maka istilah, "meter perpindahan positif." *Clearance* antara rotor dan dinding samping dijaga agar tetap minimum untuk meminimalkan kebocoran gas. Impeller memindahkan gas yang terperangkap pada impeller, empat volume gas didefinisikan sebagai setiap putaran rotor penuh. Dengan menghitung revolusi diketahui volume yang berpindah di setiap revolusi, volume gas yang dapat diukur dengan sangat akurat. Rotasi impeller juga bisa menggerakkan pulse transmitter dan menghasilkan pulsa untuk setiap putaran impeller. Dengan mengakumulasikan pulsa maka total volume dari gas dapat dihitung<sup>20</sup>.

Aliran gas dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, tekanan, komposisi gas, dan meteran itu sendiri. Seiring dengan peningkatan tekanan gas, molekul gas lebih dapat dikompresi di ruang pada pipa. Demikian pula, penurunan suhu gas, molekul gas lebih dapat diakomodasi. Dengan menerapkan persamaan mempertimbangkan komposisi gas, tekanan dan temperatur, koreksi dapat dihitung secara manual, meskipun biasanya fungsi otomatis dicapai oleh volume korektor atau flow computer.

<sup>20</sup> Rotary Meter delta brosure, 2010.

## Operasi

### Akurasi

Limit akurasi standard untuk *turbine meter* sesuai dengan peraturan arahan EC dan banyak negara lain:

Pilihan untuk *custody transfer*, akurasi adalah<sup>21</sup>

+/- 0.5% untuk flow  $0.2Q_{\max}$  sampai  $Q_{\max}$

+/- 1% untuk flow  $Q_{\min}$  sampai  $0.2 Q_{\max}$

### Repeatability

Repeatability dari *International Gas Turbine Meter* adalah +/- 0.1%. Limit akurasi ini berlaku untuk kondisi ambient air, untuk kondisi tekanan tinggi akurasi dan turn down ratio menjadi lebih baik.

## Installation

Rotary meter harus dipasang ke dalam sistem meter bebas dari getaran dan flensa pipa meter harus benar, di pasang datar untuk mendapat pembacaan yang benar dari pengukur gas.

## Perhitungan volume rotary meter

Persamaan perhitungan jika fluida yang dialirkan adalah gas<sup>22</sup>,

$$V_b = V_m \times \frac{P_f}{P_b} \times \frac{T_b}{T_f} \times \frac{Z_b}{Z_f} \quad (3.1)$$

Dimana,

$V_b$  = Volume pada kondisi standard ( $m^3$ )

$V_m$  = Volume pada kondisi flowing ( $m^3$ )

$P_b$  = Absolute Base Pressure (14.73 psia)

$P_f$  = Flowing Pressure (psia)

$T_b$  = Absoulte Base Temperature ( 60°F)

$T_f$  = Flowing Temperature (°F)

$Z_b$  = Base Compressibility Factor

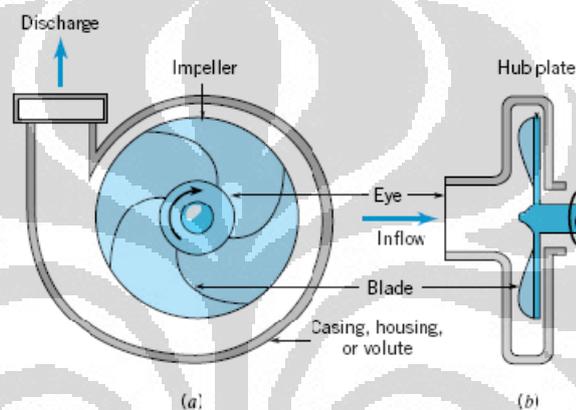
$Z_f$  = Flowing Compressibility Factor

<sup>21</sup> Turbine gas meter handbook, instromet, 2000

<sup>22</sup> Rotary Meter delta brosure, 2010

## 7. Blower

Fungsi dari blower adalah menghisap udara. *blower* sentrifugal memiliki prinsip kerja mengalirkan fluida serta mengubahnya dari tekanan rendah ke tekanan tinggi sebagai akibat adanya gaya sentrifugal yang dialami oleh fluida tersebut. Gambar 3.14 merupakan gambar schematic dari basic element *centrifugal blower*. Bedanya, bila pompa untuk mengalirkan cairan, *blower* untuk mengalirkan gas, udara misalnya. Blower kapasitas besar umumnya menggunakan motor listrik sebagai penggeraknya dengan daya di atas 5 kW



**Gambar 3.14** schematic dari basic element *centrifugal blower* (Munson,1996)

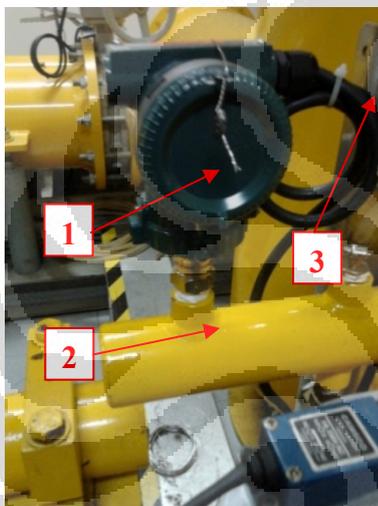
**Table 3.5** spesifikasi *centrifugal blower*

<b>CENTRIFUGAL BLOWER</b>	
Merek	: Elektrotor
Model	: Centrifugal blower
Ukuran	: 6 inch ANSI 150
Bore diameter	: 154.08 mm
$Q_{\max}$	: 1000 m <sup>3</sup> /h
$Q_{\min}$	: 10 m <sup>3</sup> /h
Fluida	: Gas
Working Pressure	: 19 bar
Working Temperature	: 22°C

Table 3.5 merupakan spesifikasi *centrifugal blower* yang di gunakan dalam penelitian ini

## 8. Pressure transmitter

Tekanan terjadi karena adanya gaya yang bekerja terhadap suatu bidang luasan. Karena itu tekanan dinyatakan sebagai gaya yang bekerja pada suatu Satuan luas. Pada bagian ini akan ditinjau beberapa prinsip pengukuran tekanan yang biasa digunakan untuk mengukur tekanan gas dalam pipa. Gambar 3.15 adalah gambar *pressure transmitter*. Transduser pressure berupa wafer silicon merespon dengan bergerak secara mekanis guna menghasilkan suatu perubahan listrik (mA) dan mentransfer ke *pressure transmitter* menjadi 4-20 mA. Tabel 3.6 merupakan spesifikasi *pressure transmitter*.



1. *Pressure transmitter*
2. Koneksi tekanan
3. Kabel *pressure transmitter* ke Flow computer

**Gambar 3.15** *pressure transmitter*  
(Yokogawa, 2000)

**Table 3.6** spesifikasi *pressure transmitter*

<b><i>PRESSURE TRANSMITTER</i></b>	
Merek	: Yokogawa
Model	: EJX 530A
Power Supply	: 24 VDC
Output	: 4 – 20mA
Calibration Range	: 0 - 80 mbar
Measurement span	: 0 – 2 bar
Pressure connection	: 1/2"NPT
Fluida	: Gas
Maximum working Pressure	: 40 bar
Working Temperature	: -40 - 120°C

Alat ukur tekanan tersebut disebut sebagai *pressure transmitter*. Sesuai dengan definisi dari tekanan di atas, terdapat 4 terminologi penting yang biasa digunakan tentang ukuran atau pengukuran tekanan yaitu,

a. Absolute Pressure (tekanan absolut)

Gaya yang bekerja pada satuan luas, tekanan ini dinyatakan dan diukur terhadap tekanan nol.

b. Gauge Pressure (tekanan relatif)

Tekanan yang dinyatakan dan diukur relatif terhadap tekanan atmosfer. Jadi tekanan relatif adalah selisih antara tekanan absolut dengan tekanan atmosfer ( $1 \text{ atmosfer} = 760 \text{ mmHg} = 14.73 \text{ psig}$ )

c. Vacuum Pressure (tekanan hampa)

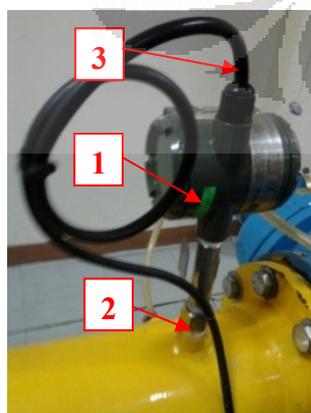
Tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer

d. Differential Pressure (tekanan differential)

Tekanan yang diukur terhadap tekanan yang lain.

9. *Temperature transmitter*

Temperatur adalah ukuran panas-dinginnya dari suatu zat. Panas-dinginnya suatu zat berkaitan dengan energi termal yang terkandung dalam zat tersebut. Makin besar energi termalnya, makin besar temperturnya. Temperatur dari suatu benda menyatakan keadaan termal benda tersebut dan kemampuan benda untuk bertukar energi dengan benda lain yang bersentuhan dengan benda tersebut. Benda yang bersuhu tinggi akan memberikan energinya kepada benda yang bersuhu rendah.



1. Temperature transmitter
2. Thermowell dan RTD PT100
3. Kabel transmitter ke flow computer

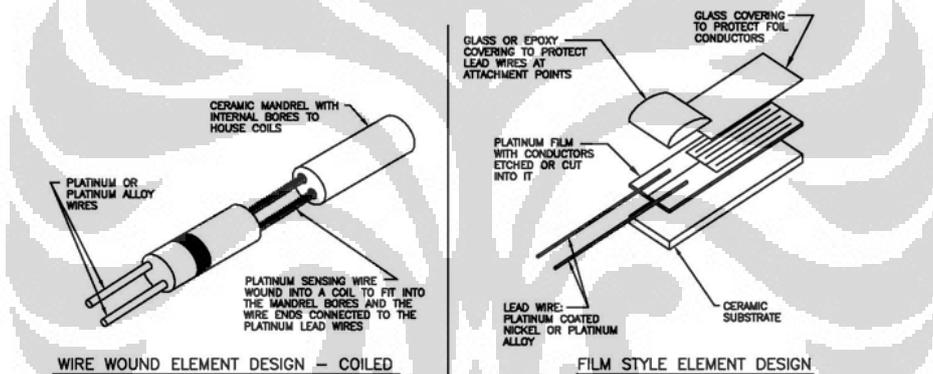
**Gambar 3.16** temperature transmitter

( yokogawa, 2000)

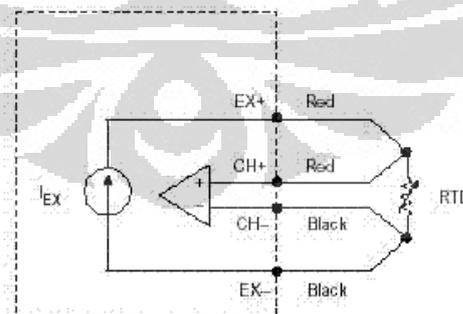
Satuan untuk temperatur adalah Celcius (C) dan dapat diukur dengan menggunakan *Temperature transmitter* bisa kita lihat di gambar 3.16. Temperatur absolut (T) adalah derajat diatas temperatur nol absolut yang dinyatakan dengan satuan Kelvin (K).

RTD (*Resistance Thermometer detector*)

- Gulungan kabel dengan lapisan tipis
- Prinsip fisik metal semakin panas semakin besar hambatan listrik
- Bahan yang di gunakan tahan dengan suhu yang dapat diprediksi, halus dan stabil.
- Tembaga, emes, nikel platinum dan perak, yang dipakai dalam percobaan ini PT100 nikel platinum dapat kiat lihat gambar 3.17
- Efek pemanasan sendiri



Gambar 3.17 RTD (*Resistance Thermometer detector*)



a. Four-Wire RTD Configuration

● = Connection to Terminal Block

Gambar 3.18 koneksi RTD (*Resistance Thermometer detector*)

4 wire ke terminal

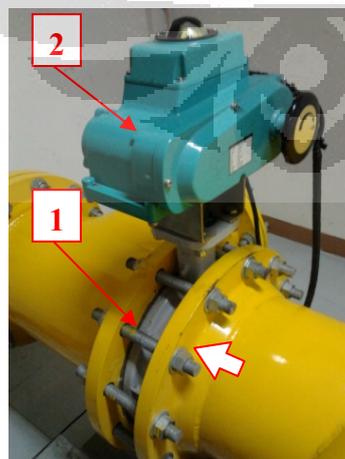
Pada penelitian ini kita menggunakan temperature sensor RTD PT 100 4 wire. Gambar 3.18 merupakan koneksi RTD RTD PT 100 4 wire. Spesifikasi *temperature transmitter* dapat kita lihat di table 3.7. Temperature panas atau dingin akan merubah hambatan ( $\Omega$ ) di RTD, RTD akan mentransfer hambatan ( $\Omega$ ) ke Tranmitter dan transmitter akan mengeluarkan signal 4-20 mA.

**Table 3.7** spesifikasi *temperature transmitter*

<b>TEMPERATURE TRANSMITTER</b>	
Merek	: Yokogawa
Model	: EJX 530A
Power Supply	: 24 VDC
Output	: 4 – 20mA
Calibration Range	: 0 - 50 °C
Measurament span	: 0 - 50 °C
Input type	: RTD, ohm
Wire connection type	: 4 wire
Thermowell connection	: 1/2"NPT
Fluida	: Gas
Maxsimum working Pressure	: 40 bar
Working Temperature	: -40 - 120°C

#### 10. Control valve

Jenis control valve yang di gunakan adalah *butterfly valve* type wafer. Fungsi dari control valve adalah mengontrol jumlah aliran gas yang masuk dalam pipa, pada saat awal batch supaya peralatan tidak over speed.



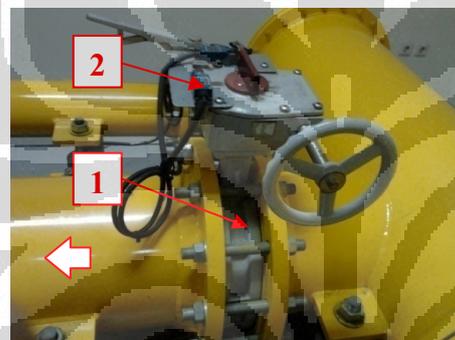
1. *Control valve type butterfly valve*
2. *Actuator*

**Gambar 3.19** Control Valve

Jadi dari flow computer mengirim signal 4 – 20 mA ke actuator. Sehingga actuator menggerakkan *butterfly valve* untuk mengontrol aliran gas yang masuk dalam pipa. Gambar dari kontrol valve dapat kita lihat pada gambar 3.19

#### 11. *Butterfly Valve*

Fungsi dari *butterfly valve* adalah untuk membuka dan menutup aliran gas dalam pipa. Sehingga aliran gas dalam pipa terisolasi. Type *butterfly valve* yang di gunakan dalam penelitian ini adalah type wafer. Membuka dan menutup aliran gas dengan *butterfly valve* secara manual. *butterfly valve* dapat kita lihat pada gambar 3.10. Status membuka dan menutup valve di pakai *limit switch* untuk mengirim signal on-off ke flow computer. Sehingga status valve membuka atau menutup pada HMI dapat kita lihat pada gambar 3.20.



1. *butterfly valve*
2. *limit switch*

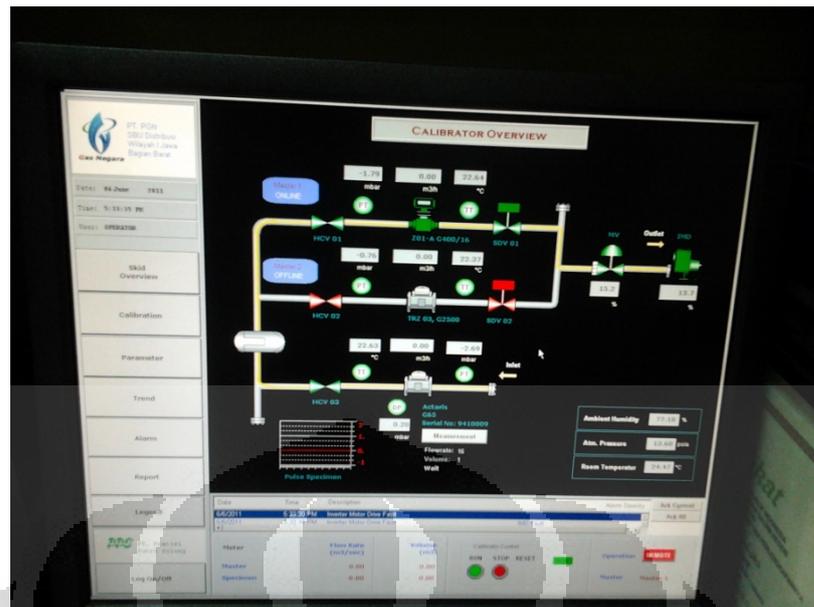
**Gambar 3.20** *butterfly valve*

#### 12. Komputer

Didalam Komputer terinstal HMI (*Human Machine Interface*) yang mengendalikan semua instrument. HMI (*Human Machine Interface*) dapat kita lihat pad gambar 3.22.



**Gambar 3.21** control panel



**Gambar 3.22** HMI (*Human Machine Interface*)

### 3.4 Prosedur experiment

Sebelum system dijalankan hendaknya dilakukan persiapan awal sebagai berikut

1. Piping Test : memastikan semua sambungan pipa dan tubing tidak ada kebocoran.
2. Continuity Test : memastikan integritas sambungan elektrik sinyal dari meter turbin, pressure transitter, temperature transmitter sampai ke panel kontrol.
3. Functional Test : memastikan semua fungsi elektrik dari peralatan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan dengan memberikan catu daya ke dalam peralatan tersebut
4. Calibration Test : memastikan daerah kerja dari masing-masing peralatan utama metering sesuai dengan kalibrasi yang ditentukan dan dalam batasan akurasi yang ada.
5. *Turbin meter* test : menghidupkan blower, mengejas blower sehingga flow rate nya tercapai yang di inginkan. Berikan variasi flow sesuai dengan flow pada tab

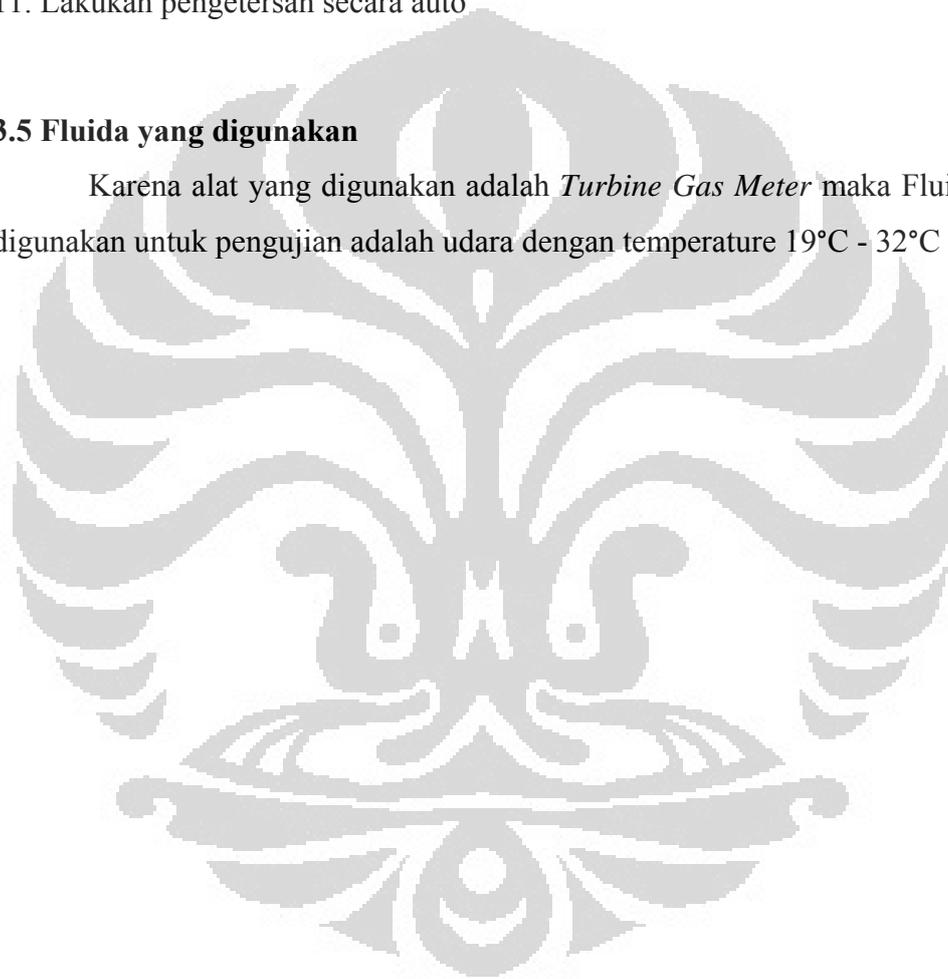
### Langka-langkah pengetesan

1. Letakkan *turbin meter* di depan pipa *downstream*.
2. Pasang pipa *upstream* di depan *turbine meter*.
3. Pasang gasket pada sambungan pipe.
4. Pasang baut dan mur pada sambungan pipa *upstream* dan pipa *downstream*.

5. Stel kerataan pipa.
6. Seting ke senteran pipa *upstream*, *turbin meter* dengan pipa *downstream*.
7. Clamping pipa *upsteam*, turbine meter dengan pipa *downstream*.
8. Pasang tubing pipe di turbin meter pada pressure transmitter.
9. Visual Check : memastikan semua peralatan sesuai dengan spesifikasi dan ditempatkan sesuai dengan lokasi yang sudah ditetapkan.
10. Masukan data data pada HMI
11. Lakukan pengetersan secara auto

### 3.5 Fluida yang digunakan

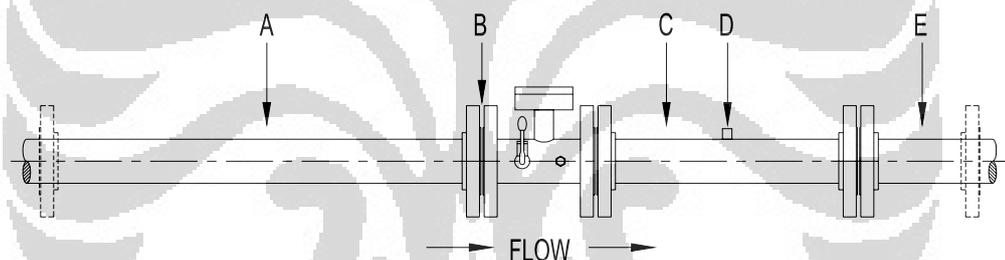
Karena alat yang digunakan adalah *Turbine Gas Meter* maka Fluida yang digunakan untuk pengujian adalah udara dengan temperature  $19^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$



## BAB 4

### DATA DAN ANALISIS

Pada dasarnya analisa yang dilakukan merupakan hasil perhitungan dan simulasi yang dibuat berdasarkan data-data dengan melakukan percobaan. Gambar 4.1 adalah piping konfigurasi alat uji pada percobaan mengukur aliran gas dengan empat kekasaran dinding pipa pada *upstream pipe turbine meter*. Empat macam kekasaran dinding pipa *upstream* dapat kita lihat di tabel 4.1. Untuk mengetahui pengaruh kekasaran dinding pipa terhadap akurasi pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*. Maka perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan perangkat alat uji untuk memperoleh data- data yang diperlukan. Selanjutnya data-data tersebut diolah sehingga dapat diketahui karakteristik flow pada masing-masing kondisi pengujian. Pada pipa *downstream* kekasaran dinding pipa tidak di ukur, dan pipa *upstream* halus tidak di ukur kekasarannya.



**Gambar 4.1** Piping konfigurasi

**Table 4.1** Identifikasi meter tube

IDENTIFIKASI	KEKASARAN DINDING PIPA PER DIAMETER ( $\epsilon/d$ )	DIAMETER DALAM PIPA ( m )	PANJANG PIPA ( m )
A0 - <i>Upstream pipe</i>	NA (halus)		
A1 - <i>Upstream pipe</i>	0.080030488		
A2 - <i>Upstream pipe</i>	0.119855183	0.05248	0.61
A3 - <i>Upstream pipe</i>	0.140053354		
A4 - <i>Upstream pipe</i>	0.137195122		
C - <i>Downstream pipe</i>	-	0.05248	0.77

**Table 4.2** Meter flow conditioner

IDENTIFIKASI	TERPASANG
B - <i>Upstream flow conditioner</i>	Terpasang di <i>turbine meter</i>

**Table 4.3** Meter *thermowell*

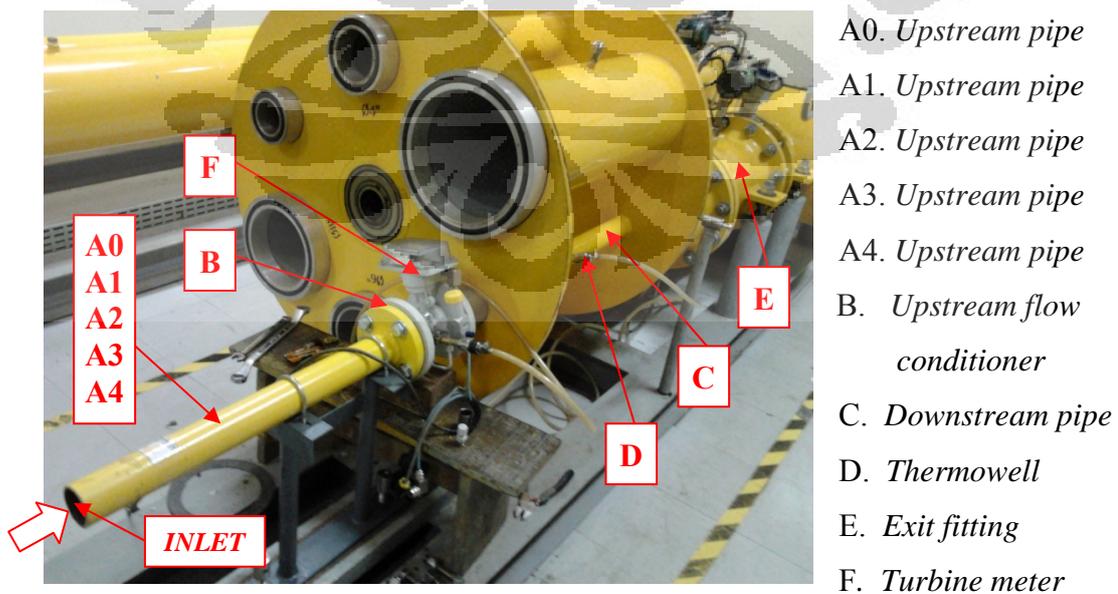
IDENTIFIKASI	JARAK DARI <i>FLANGE FACE</i> <i>TURBINE METER</i> (m)	JUMLAH
D - <i>Thermowell</i>	0.38	1

Pada tabel 4.3 thermowell terpasang di pipa *downstream*, dimana pengukuran temperatur aliran gas kondisi mengalir ( $T_f$ ). Sensor yang dipakai dalam mengukur temperatur dengan RTD (*Resistance Thermometer detector*) PT100. PT100 artinya 100 $\Omega$  pada kondisi 0°C. PT100 terpasang pada temperature transmitter. Temperatur transmitter akan mengirim signal 4-20mA ke PLC.

**Table 4.4** Fitting identifikasi

IDENTIFIKASI	TYPE
E - <i>Exit fitting</i>	<i>Straight pipe</i>

Tabel 4.4 adalah *Exit fitting* dengan type sraight pipe yang menghubungkan *turbine meter* dengan rotary meter ke centrifugal blower.

**Gambar 4.2** konfigurasi *turbin meter* pada waktu dilakukan pengambilan data

Konfigurasi *turbin meter* pada waktu dilakukan pengambilan data dapat kita lihat pada gambar 4.2.

Dalam melakukan percobaan pengukuran aliran gas dengan empat macam pipa *upstream* dengan kekasaran dinding pipa yang berbeda.. Pengukuran kekasaran ampelas dilakukan pada ampelas 1 meter di ukur kekasarannya pada empat bagian.

Tabel 4.5 pada lampiran 1, merupakan nilai kekasaran ampelas, untuk melapisi bagian dalam dinding pipa *upstream* A1. Pengukuran kekasaran ampelas dengan alat ukur Surfcom 120A. Pengukuran kekasaran ampelas dilakukan pada ampelas 1 meter di ukur kekasarannya pada empat bagian.

Pada tabel 4.6 pada lampiran 2, merupakan data nilai kekasaran ampelas, untuk melapisi bagian dalam dinding pipa *upstream* A2 Pengukuran kekasaran ampelas dengan alat ukur Surfcom 120A. Pengukuran kekasaran ampelas dilakukan pada ampelas 1 meter di ukur kekasarannya pada empat bagian.

Pada tabel 4.7 pada lampiran 3, merupakan nilai kekasaran ampelas, untuk melapisi bagian dalam dinding pipa *upstream* A3 Pengukuran kekasaran ampelas dengan alat ukur Surfcom 120A. Pengukuran kekasaran ampelas dilakukan pada ampelas 1 meter di ukur kekasarannya pada empat bagian.

Pada tabel 4.8 pada lampiran 4, merupakan nilai kekasaran ampelas, untuk melapisi bagian dalam dinding pipa *upstream* A4 Pengukuran kekasaran ampelas dengan alat ukur Surfcom 120A. Pengukuran kekasaran ampelas dilakukan pada ampelas 1 meter di ukur kekasarannya pada empat bagian.

**Table 4.9** Data nilai  $\epsilon/d$

PIPA UPSTREAM	AMPELAS	Ra ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon$ ( m )	DIAMETER PIPA (d) ( m )	$\epsilon/d$
A0	NA	NA	NA	0.05248	halus
A1	AA60	4.2	0.0042	0.05248	0.090712743
A2	AA100	6.29	0.00629	0.05248	0.119855183
A3	AA180	7.35	0.00735	0.05248	0.140053354
A4	AA240	7.2	0.0072	0.05248	0.137195122

Untuk mempermudah identifikasi pipa *upstream* yang digunakan dalam pengujian *turbine meter* maka perlu di buat tabel 4.9. dalam penelitian ini kita menggunakan lima macam pipa dengan kekasaran yang berbeda- beda, dengan diameter dalam pipa sama. Dalam melakukan penelitian ini kita menggunakan turbine meter dapat kita lihat pada tabel 5.0

**Table 5.0** Meter dan kalibrasi parameter

<b>Calibrasi turbine meter</b>	
Merek	: Actaris
Model	: Fluxi
$Q_{max}$	: 100 m <sup>3</sup> /h
$Q_{min}$	: 10 m <sup>3</sup> /h
Bore diameter	: 52.48 m
Meter output	: Pulse
Meter faktor	: 1 pulse/1 m <sup>3</sup>
Test medium	: Udara
Temperature ambien	: 22°C

**Fluida yang digunakan:**

Fluida yang digunakan untuk pengujian adalah udara dengan temperature 18°C - 32°C

**4.1 Pengujian**

Pengujian *turbine meter* dilakukan dengan mengambil data akurasi *turbine meter* dengan tiga macam flow rate (Q) yaitu 16 m<sup>3</sup>/h, 45 m<sup>3</sup>/h, 98 m<sup>3</sup>/h. Satu macam flow di uji tiga kali. Dan di ambil nilai rata-ratanya. Tabel 5.2 merupakan hasil pengujian turbin meter dengan pencapaian flowrate pada measuring point pipa upstream A1. Kekasaran dinding pipa (Ra) bagian dalam adalah 4.2 µm. Di specimen meter atau di *turbine meter*, pengambilan nilai tekanan (Pw) diukur dengan *pressure transmitter* di *body turbine meter*. Pengambilan nilai temperatur (Tw) diperoleh dari temperatur yang terletak di pipa *downstream turbine meter*. Volume pengukuran (W) adalah volume gas yang di ukur oleh *turbine meter* tanpa terpengaruh oleh tekanan dan temperatur aliran gas. Pengambilan data di master meter atau di *rotay meter*. Pengambilan nilai tekanan (Pm) diukur dengan

*pressure transmitter* di *body rotay meter*. Pengambilan nilai temperatur ( $P_m$ ) diperoleh dari temperate yang terletak di pipa *downstream rotary meter*. Volume pengukuran ( $M$ ) adalah volume gas yang di ukur oleh roty meter tanpa terpengaruh oleh tekanan dan temperatur aliran gas. Kesalahan penunjukan master meter atau *rotay meter* adalah kesalahan atau error master meter terhadap master meter pada waktu di kalibrasi. Tabel 5.1 merupakan hasil pengujian *turbin meter* dengan pencapaian flowrate pada measuring point pipa upstream A0. Tabel 5.3 merupakan hasil pengujian turbin meter dengan pencapaian flowrate pada measuring point pipa upstream A3. Tabel 5.3 merupakan hasil pengujian turbin meter dengan pencapaian flowrate pada measuring point pipa upstream A4.

#### 4.2 Perhitungan

Perhitungan nilai error pengukuran specimen meter atau *turbine meter* terhadap master meter atau *rotay meter* adalah sebagai berikut,

1. Beda penunjukan volume gas dalam % adalah volume pengukuran gas oleh specimen meter atau *turbine meter* ( $W$ ) di kurangi dengan volume pengukuran oleh master meter atau *rotay meter* ( $M$ ) dan hasilnya dibagi dengan volume pengukuran oleh master meter atau *rotay meter* ( $M$ ) dikali 100%

$$S1 = \{ (W - M) / M \} \times 100 \quad (4.1)$$

2. Beda tekanan adalah nilai dari tekanan spesiment meter atau *turbine meter* ( $P_w$ ) di kurangi dengan tekanan master meter atau *rotay meter* ( $P_m$ ) dan hasilnya di kali 0.1.

$$S2 = (P_w - P_m) \times 0.1 \quad (4.2)$$

3. Beda temperature adalah nilai dari temperature spesiment meter atau *turbine meter* ( $T_w$ ) di kurangi dengan temperature master meter atau *rotay meter* ( $T_m$ ) dan hasilnya di kali 3.4

$$S3 = (T_m - T_w) \times 3.4 \quad (4.3)$$

4. Kesalahan master meter adalah kesalahan master meter atau *rotay meter* pada kalibrasi di metrology

$$S_4 = S_m \quad (4.4)$$

5. Kesalahan penunjukan master meter specimen meter atau *turbine meter* adalah jumlah dari pada penunjukan, beda tekanan, beda temperature dan kesalahan pengukuran master meter.

$$S_5 = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \quad (4.5)$$

6. Akurasi rata-rata dari turbin meter atau error pengukuran aliran *turbine meter* dalam % adalah rata-rata kealaha penunjukan turbin meter di bagi dengan 3 kali percobaan.

$$\text{Rata-rata} = (1+2+3) / 3 \quad (4.6)$$

7. Akurasi minus berarti hasil pengukuran aliran dari *turbine meter* tersebut kurang dari nilai aliran sebenarnya
8. Akurasi plus berarti hasil pengukuran aliran dari *turbine meter* tersebut lebih dari nilai aliran sebenarnya.

**Tabel 5.1** pencapaian flow rate pada measuring point pipa *upstream* A0

<b>Pipa Uptream</b> : A0		<b>Spesimen Meter</b> : Turbine Meter		<b>Master Meter</b> : Rotary Meter								
<b>Kekasaran dinding pipa (Ra)</b> : halus		<b>Model</b> : G65		<b>Model</b> : G.400								
<b>Kekasaran per diameter (<math>\epsilon/d</math>)</b> : halus		<b>Qmax (m3/h)</b> :100		<b>Qmax (m3/h)</b> : 650								
		<b>Qmin (m3/h)</b> :10		<b>Qmin (m3/h)</b> : 8								
No	URAIAN	FORMULA	SATUAN	HASIL PENGUJIAN								
				A			B			C		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	FLOWRATE	Q	m <sup>3</sup> /h	16,00	16,00	16,00	44,00	44,00	44,00	98,00	98,00	98,00
<b>SPESIMEN METER</b>												
2	Tekanan	Pw	mbar	-2,79	-2,77	-2,77	-5,32	-5,31	-5,30	-16,12	-16,10	-16,10
3	Temperature	Tw	°C	21,59	21,57	21,55	21,48	21,40	21,37	21,30	21,22	21,19
4	Volume pengukuran	W	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	4,00	4,00	4,00
<b>MASTER METER</b>												
5	Tekanan	Pm	mbar	-1,89	-1,87	-1,87	-4,88	-4,86	-4,86	-17,76	-17,74	-17,73
6	Temperature	Tm	°C	21,82	21,82	21,80	21,79	21,78	21,77	21,75	21,73	21,72
7	Volume pengukuran	M	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	4,03	4,02	4,02
8	Kesalahan Panunjukan	Sm	%	-0,24	-0,24	-0,24	-0,10	-0,10	-0,10	-0,22	-0,22	-0,22
<b>PERHITUNGAN</b>												
9	beda penunjukan	$S1 = \{ ( W - M ) / M \} \times 100$	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,74	-0,498	-0,498
10	Beda tekanan	$S2 = ( Pw - Pm ) \times 0.1$	%	-0,09	-0,09	-0,09	-0,04	-0,04	-0,04	0,16	0,16	0,16
11	Beda temperature	$S3 = ( Tm - Tw ) \times 3.4$	%	0,08	0,09	0,09	0,11	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18
12	kesalahan Master Meter	$S4 = Sm$	%	-0,24	-0,24	-0,24	-0,10	-0,10	-0,10	-0,22	-0,22	-0,22
13	Kesalahan Penunjukan	$S5 = S1 + S2 + S3 + S4$	%	-0,25	-0,25	-0,25	-0,04	-0,02	-0,01	-0,65	-0,38	-0,37
14	Akurasi Rata-Rata	$Rata-rata = (1+2+3) / 3$	%	-0,25			-0,02			-0,47		

**Tabel 5.2** pencapaian flow rate pada measuring point pipa *upstream* A1

<b>Pipa Upstream</b> : A1		<b>Spesimen Meter</b> : Turbine Meter		<b>Master Meter</b> : Rotary Meter								
<b>Kekasaran dinding pipa (Ra)</b> : 4.2 μm		<b>Model</b> : G65		<b>Model</b> : G.400								
<b>Kekasaran per diameter (ε/d)</b> : 0,090712743		<b>Qmax (m3/h)</b> :100		<b>Qmax (m3/h)</b> : 650								
		<b>Qmin (m3/h)</b> :10		<b>Qmin (m3/h)</b> : 8								
No	URAIAN	FORMULA	SATUAN	HASIL PENGUJIAN								
				A			B			C		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	FLOWRATE	Q	m <sup>3</sup> /h	16,00	16,00	16,00	45,00	45,00	45,00	98,00	98,00	98,00
<b>SPESIMEN METER</b>												
2	Tekanan	Pw	mbar	-2,74	-2,74	-2,75	-5,43	-5,41	-5,42	-16,42	-16,41	-16,43
3	Temperature	Tw	°C	22,70	22,67	22,66	22,62	22,53	22,47	22,35	22,25	22,22
4	Volume pengukuran	W	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	4,00	4,00	4,00
<b>MASTER METER</b>												
5	Tekanan	Pm	mbar	-1,88	-1,87	-1,86	-5,01	-5,00	-5,00	-17,91	-17,90	-17,91
6	Temperature	Tm	°C	22,69	22,69	22,69	22,69	22,70	22,69	22,67	22,65	22,64
7	Volume pengukuran	M	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	4,03	4,03	4,03
8	Kesalahan Panunjukan	Sm	%	-0,24	-0,24	-0,24	-0,10	-0,10	-0,10	-0,22	-0,22	-0,22
<b>PERHITUNGAN</b>												
9	beda penunjukan	$S1 = \{ ( W - M ) / M \} \times 100$	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,74	-0,744	-0,744
10	Beda tekanan	$S2 = ( Pw - Pm ) \times 0.1$	%	-0,09	-0,09	-0,09	-0,04	-0,04	-0,04	0,15	0,15	0,15
11	Beda temperature	$S3 = ( Tm - Tw ) \times 3.4$	%	0,00	0,01	0,01	0,02	0,06	0,07	0,11	0,14	0,14
12	kesalahan Master Meter	$S4 = Sm$	%	-0,24	-0,24	-0,24	-0,10	-0,10	-0,10	-0,22	-0,22	-0,22
13	Kesalahan Penunjukan	$S5 = S1 + S2 + S3 + S4$	%	-0,33	-0,32	-0,32	-0,12	-0,08	-0,07	-0,71	-0,68	-0,67
14	Akurasi Rata-Rata	$Rata-rata = (1+2+3) / 3$	%	-0,32			-0,09			-0,69		

Tabel 5.3 pencapaian flow rate pada measuring point pipa *upstream* A2

Pipa Uptream : A2				Spesiment Meter : Turbine Meter				Master Meter : Rotary Meter				
Kekasaran dinding pipa (Ra) : 6.29 $\mu\text{m}$				Model : G65				Model : G.400				
Kekasaran per diameter ( $\epsilon/d$ ) : 0,119855183				Qmax (m3/h) :100				Qmax (m3/h) : 650				
				Qmin (m3/h) :10				Qmin (m3/h) : 8				
No	URAIAN	FORMULA	SATUAN	HASIL PENGUJIAN								
				A			B			C		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	FLOWRATE	Q	m <sup>3</sup> /h	16,00	16,00	16,00	45,00	45,00	45,00	98,00	98,00	98,00
<b>SPESIMEN METER</b>												
2	Tekanan	Pw	mbar	-2,85	-2,86	-2,86	-6,49	-6,48	-6,49	-16,63	-16,63	-16,64
3	Temperature	Tw	°C	22,42	22,42	22,42	22,39	22,36	22,33	22,27	22,23	22,19
4	Volume pengukuran	W	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	4,00	4,00	4,00
<b>MASTER METER</b>												
5	Tekanan	Pm	mbar	-2,02	-2,03	-2,03	-6,28	-6,26	-6,28	-18,34	-18,36	-18,37
6	Temperature	Tm	°C	22,33	22,36	22,38	22,40	22,42	22,43	22,43	22,43	22,44
7	Volume pengukuran	M	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,51	4,02	4,02	4,02
8	Kesalahan Panunjukan	Sm	%	-0,21	-0,20	-0,20	-0,11	-0,11	-0,11	-0,22	-0,22	-0,22
<b>PERHITUNGAN</b>												
9	beda penunjukan	$S1 = \{(W - M) / M\} \times 100$	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,66	-0,50	-0,498	-0,498
10	Beda tekanan	$S2 = (Pw - Pm) \times 0.1$	%	-0,08	-0,08	-0,08	-0,02	-0,02	-0,02	0,17	0,17	0,17
11	Beda temperature	$S3 = (Tm - Tw) \times 3.4$	%	-0,03	-0,02	-0,01	0,00	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09
12	kesalahan Master Meter	$S4 = Sm$	%	-0,21	-0,20	-0,20	-0,11	-0,11	-0,11	-0,22	-0,22	-0,22
13	Kesalahan Penunjukan	$S5 = S1 + S2 + S3 + S4$	%	-0,32	-0,30	-0,30	-0,13	-0,11	-0,76	-0,49	-0,48	-0,46
14	Akurasi Rata-Rata	$Rata-rata = (1+2+3) / 3$	%	-0,31			-0,33			-0,48		

**Tabel 5.4** pencapaian flow rate pada measuring point pipa *upstream* A3

<b>Pipa Upstream</b>		: A3	<b>Spesiment Meter</b>		: Turbine Meter	<b>Master Meter</b>		: Rotary Meter				
<b>Kekasaran dinding pipa (Ra)</b>		: 7.35 $\mu\text{m}$	<b>Model</b>		: G65	<b>Model</b>		: G.400				
<b>Kekasaran per diameter (<math>\epsilon/d</math>)</b>		: 0,140053354	<b>Qmax (m3/h)</b>		: 100	<b>Qmax (m3/h)</b>		: 650				
			<b>Qmin (m3/h)</b>		: 10	<b>Qmin (m3/h)</b>		: 8				
No	URAIAN	FORMULA	SATUAN	HASIL PENGUJIAN								
				A			B			C		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	FLOWRATE	Q	m <sup>3</sup> /h	16,00	16,00	16,00	45,00	45,00	45,00	99,00	99,00	99,00
<b>SPESIMEN METER</b>												
2	Tekanan	Pw	mbar	-2,75	-2,74	-2,74	-5,38	-5,37	-5,37	-16,33	-16,32	-16,36
3	Temperature	Tw	°C	22,61	22,57	22,54	22,45	22,35	22,28	22,16	22,06	22,15
4	Volume pengukuran	W	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	4,00	4,00	4,00
<b>MASTER METER</b>												
5	Tekanan	Pm	mbar	-1,88	-1,87	-1,87	-4,97	-4,96	-4,95	-17,85	-17,85	-17,89
6	Temperature	Tm	°C	22,63	22,61	22,60	22,59	22,59	22,59	22,56	22,55	22,52
7	Volume pengukuran	M	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	4,03	4,03	4,02
8	Kesalahan Panunjukan	Sm	%	-0,24	-0,24	-0,24	-0,10	-0,10	-0,10	-0,22	-0,22	-0,22
<b>PERHITUNGAN</b>												
9	beda penunjukan	$S1 = \{ (W - M) / M \} \times 100$	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,74	-0,74	-0,50
10	Beda tekanan	$S2 = (Pw - Pm) \times 0.1$	%	-0,09	-0,09	-0,09	-0,04	-0,04	-0,04	0,15	0,15	0,15
11	Beda temperature	$S3 = (Tm - Tw) \times 3.4$	%	0,01	0,01	0,02	0,05	0,08	0,11	0,14	0,17	0,13
12	kesalahan Master Meter	$S4 = Sm$	%	-0,24	-0,24	-0,24	-0,10	-0,10	-0,10	-0,22	-0,22	-0,22
13	Kesalahan Penunjukan	$S5 = S1 + S2 + S3 + S4$	%	-0,32	-0,31	-0,31	-0,09	-0,06	-0,04	-0,68	-0,64	-0,44
14	Akurasi Rata-Rata	$Rata-rata = (1+2+3) / 3$	%	-0,31			-0,06			-0,59		

Tabel 5.5 pencapaian flow rate pada measuring point pipa *upstream* A4

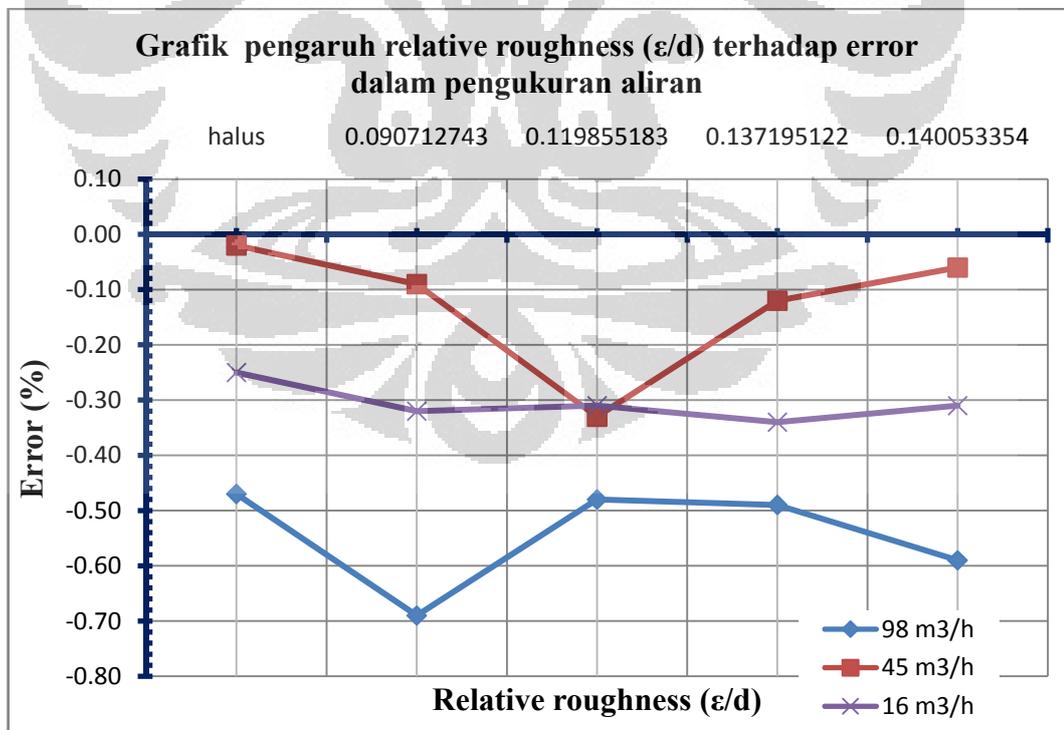
Pipa Uptream : A4		Spesimen Meter : Turbine Meter		Master Meter : Rotary Meter								
Kekasaran dinding pipa (Ra) : 7.2 $\mu$ m		Model : G65		Model : G.400								
Kekasaran per diameter ( $\epsilon/d$ ) : 0,137195122		Qmax (m3/h) : 100		Qmax (m3/h) : 650								
		Qmin (m3/h) : 10		Qmin (m3/h) : 8								
No	URAIAN	FORMULA	SATUAN	HASIL PENGUJIAN								
				A			B			C		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	FLOWRATE	Q	m <sup>3</sup> /h	16,00	16,00	16,00	45,00	45,00	45,00	98,00	98,00	98,00
<b>SPESIMEN METER</b>												
2	Tekanan	Pf	mbar	-2,74	-2,73	-2,73	-5,36	-5,35	-5,35	-16,15	-16,13	-16,14
3	Temperature	Tf	°C	22,56	22,55	22,54	22,51	22,49	22,48	22,45	22,42	22,44
4	Volume pengukuran	Vf	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	4,00	4,00	4,00
<b>MASTER METER</b>												
5	Tekanan	Pf	mbar	-1,86	-1,86	-1,85	-4,96	-4,96	-4,96	-17,91	-17,89	-17,90
6	Temperature	Tf	°C	22,51	22,51	22,52	22,53	22,55	22,56	22,56	22,58	22,60
7	Volume pengukuran	Vm	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	4,02	4,02	4,02
8	Kesalahan Panunjukan	Sm	%	-0,24	-0,24	-0,24	-0,10	-0,10	-0,10	-0,22	-0,22	-0,22
<b>PERHITUNGAN</b>												
9	beda penunjukan	$S1 = \{( W - M ) / M \} \times 100$	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,50	-0,498	-0,498
10	Beda tekanan	$S2 = ( Pw - Pm ) \times 0.1$	%	-0,09	-0,09	-0,09	-0,04	-0,04	-0,04	0,18	0,18	0,18
11	Beda temperature	$S3 = ( Tm - Tw ) \times 3.4$	%	-0,02	-0,01	-0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
12	kesalahan Master Meter	$S4 = Sm$	%	-0,24	-0,24	-0,24	-0,10	-0,10	-0,10	-0,22	-0,22	-0,22
13	Kesalahan Penunjukan	$S5 = S1 + S2 + S3 + S4$	%	-0,34	-0,34	-0,33	-0,13	-0,12	-0,11	-0,50	-0,49	-0,49
14	Akurasi Rata-Rata	$Rata-rata = (1+2+3) / 3$	%	-0,34			-0,12			-0,49		

**Tabel 5.6** pengaruh kekasaran ( $\epsilon/d$ ) terhadap error (%) pengukuran *turbine meter*

$\epsilon/d$	Flow rate		
	16 m <sup>3</sup> /h	45 m <sup>3</sup> /h	98 m <sup>3</sup> /h
halus	Error -0.25 %	Error -0.02 %	Error -0.47 %
0.090712743	Error -0.32 %	Error -0.09 %	Error -0.69 %
0.119855183	Error -0.31 %	Error -0.33 %	Error -0.48 %
0.137195122	Error -0.34 %	Error -0.12 %	Error -0.49 %
0.140053354	Error -0.31 %	Error -0.06 %	Error -0.59 %

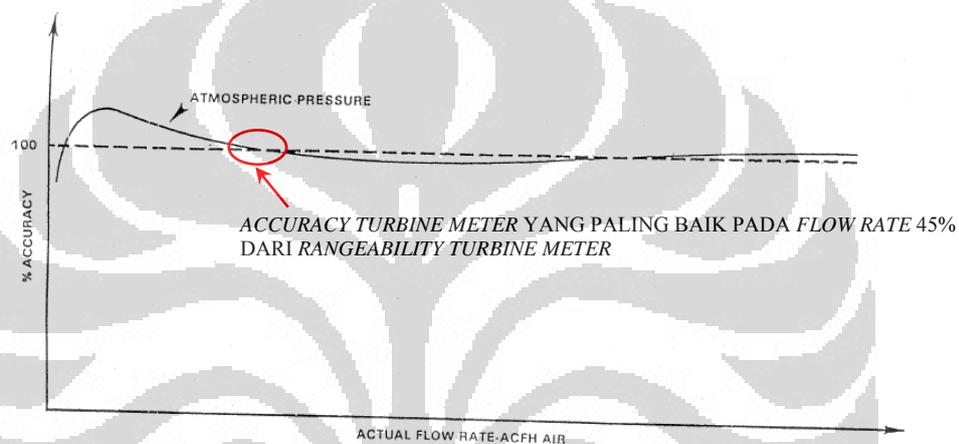
**Tabel 5.7** pengaruh kekasaran ( $\epsilon/d$ ) terhadap flow rate (Q) yang sebenarnya pengukuran *turbine meter*

$\epsilon/d$	Flow rate (Q) yang ter ukur oleh turbine meter		
	16 m <sup>3</sup> /h	45 m <sup>3</sup> /h	98 m <sup>3</sup> /h
halus	12.00 m <sup>3</sup> /h	44.10 m <sup>3</sup> /h	51.94 m <sup>3</sup> /h
0.090712743	10.88 m <sup>3</sup> /h	40.95 m <sup>3</sup> /h	30.38 m <sup>3</sup> /h
0.119855183	11.04 m <sup>3</sup> /h	30.15 m <sup>3</sup> /h	50.96 m <sup>3</sup> /h
0.137195122	10.56 m <sup>3</sup> /h	39.60 m <sup>3</sup> /h	49.98 m <sup>3</sup> /h
0.140053354	11.04 m <sup>3</sup> /h	42.30 m <sup>3</sup> /h	40.18

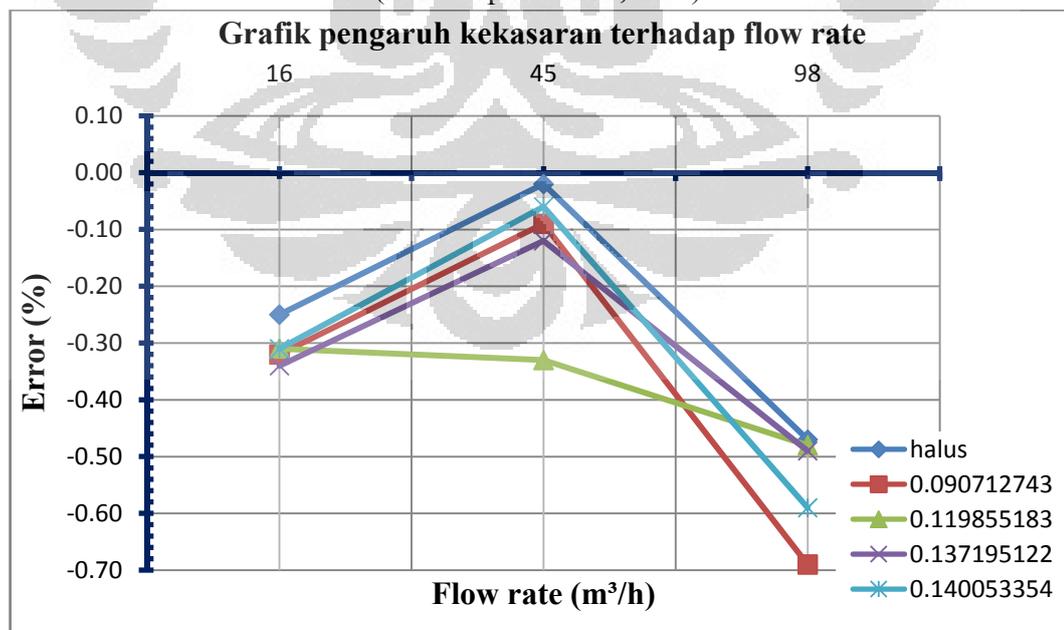


**Gambar 4.3** grafik pengaruh kekasaran ( $\epsilon/d$ ) terhadap error (%) dalam pengukuran aliran *turbine meter*

Gambar 4.3 diatas merupakan grafik grafik pengaruh kekasaran terhadap error dalam pengukuran alairan *turbine meter*. Pada flow rate  $45\text{m}^3/\text{h}$  menunjukkan nilai error terkecil dari pada flow rate  $16\text{m}^3/\text{h}$  dan flow rate  $95\text{m}^3/\text{h}$  walaupun dengan empat macam kekasaran dinding pipa bagian dalam. Pengukuran *flow rate* pada  $45\text{m}^3/\text{h}$  adalah nilai paling oktimum daerah ukur paling bagus untuk pengukuran aliran dengan *turbine meter* G.65 pada flow rate 45% dari *Rangeability turbine meter*. Akurasi pengukuran *flow rate* pada *turbine meter* yang paling baik pada 45% dari *Rangeability turbine meter* dapat kita lihat pada gambar 4.4.



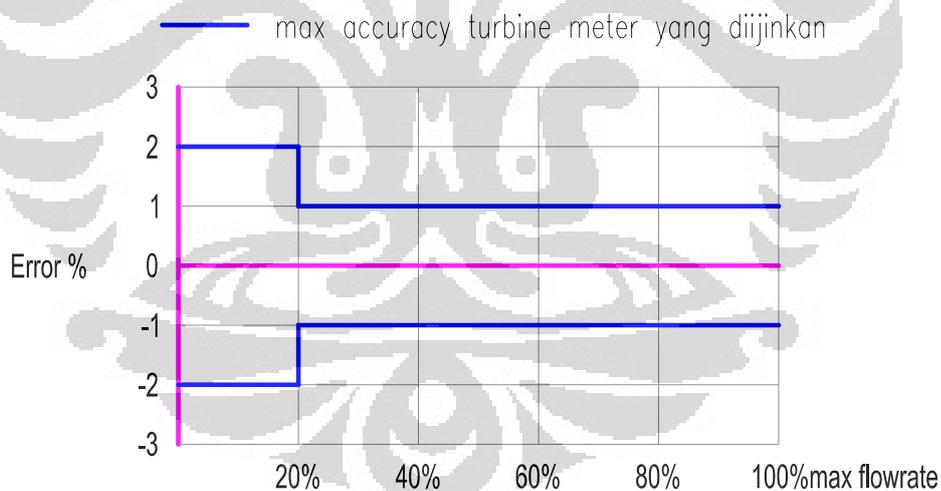
**Gambar 4.4** kurva akurasi *turbin meter* kondisi *atmospheric pressure* (AGA report No. 7,1981)



**Gambar 4.5** grafik pengakuran kekasaran ( $\epsilon/d$ ) terhadap flow rate ( $Q$ ) dengan *turbine meter*

Gas terkondisi dan terakselerasi menggerakkan turbine wheel dengan *angular velocity* yang proporsional dengan gas *velocity*. Kecepatan sudut (*angular velocity*) dari turbine rotor adalah berbanding lurus dengan laju aliran (*fluid velocity*) yang melalui *turbine meter*.

Gambar 4.5 diatas merupakan grafik pengakuran kekasaran terhadap flow rate dengan *turbine meter*, pada flowrate 16 m<sup>3</sup>/h, 45 m<sup>3</sup>/h, 98 m<sup>3</sup>/h. Pada flow rate 45m<sup>3</sup>/h menunjukkan nilai error terkecil dari pada flow rate 16 m<sup>3</sup>/h dan flow rate 95 m<sup>3</sup>/h. Pengukuran flow rate pada 45 m<sup>3</sup>/h adalah nilai paling optimum pengukuran aliran dengan turbine meter G.65 atau flow rate 45% dari *Rangeability turbine meter*. Akurasi pengukuran *flow rate* pada *turbine meter* yang paling baik pada 45% dari *Rangeability turbine meter* dapat kita lihat pada gambar 4.4.. Dengan mengacu pada ISO 9951 maximum error yang diijinkan penunjukan turbin meter pada gambar 4.4 maka relative roughness tidak masuk dalam standar ISO 9951 dengan Akurasi plus atau minus 2% dari nilai sebenarnya pada laju aliran minimum dan plus atau minus 1% dari nilai sebenarnya pada laju aliran maksimum.



**Gambar 4.6** maximum error yang diijinkan mengacu pada ISO 9951

Gambar 4.6 adalah untuk Akurasi yang diijinkan untuk laju aliran minimum dan maksimum. Akurasi plus atau minus 2% dari nilai sebenarnya pada laju aliran minimum dan plus atau minus 1% dari nilai sebenarnya pada laju aliran maksimum ditetapkan dalam ISO 9951.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang diuraikan pada tulisan ini, berdasarkan simulasi dan perhitungan yang dilakukan, maka ada beberapa hal yang dapat disimpulkan dari topik ini, yaitu:

1. Pada *turbine meter* G.65 performance pengukuran aliran gas pada flow rate  $45\text{m}^3/\text{h}$  atau flow rate 45% dari *Rangeability turbine meter*. Akurasi pengukuran *flow rate* pada *turbine meter* yang paling baik pada 45% dari *Rangeability turbine meter* dapat kita lihat pada gambar 4.4. Gas terkondisi dan terakselerasi menggerakkan turbine wheel dengan *angular velocity* yang proporsional dengan gas *velocity*. Kecepatan sudut (*angular velocity*) dari turbine rotor adalah berbanding lurus dengan laju aliran (*fluid velocity*) yang melalui *turbine meter*.
2. Kekasaran dinding pipa berpengaruh terhadap akurasi pengukuran aliran gas dengan *turbine meter*

### 5.2 Saran

1. Untuk penelitian berikutnya mungkin dapat dicoba dengan menggunakan pipa *upstream* dengan relative roughness (Ra) yang sebenarnya, yaitu dengan menggunakan pipa *upstream* yang digunakan transportasi natural gas, agar prediksi yang dilakukan dapat lebih mendekati kondisi aktualnya.
2. Pada penelitian berikutnya dapat dicoba dengan menggunakan *orifice flow meter*, sehingga dapat diketahui juga perbedaan karakteristik pengaruh kekasaran dinding pipa terhadap akurasi aliran gas.

**DAFTAR REFERENSI**

1. AGA report No. 7, *Measurement of Fuel Gas by Turbine Meters*, Washington, DC. 1981.
2. AGA report No. 3, fourth edition , *Orifice Metering of natural gas and other related hydrocarbon fluids*, Washington, DC. 2000.
3. AGA report No. 9, *Ultrasonic Flowmetering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids*, Washington, DC. 2000
4. Munson, Young, Okiishi, *Fundamentals of fluid Mechanics*, Fourth Edition, 2003
5. Frank M. White, *Mekanika Fluida*, fifty edition , 1988
6. *Turbine Gas Meter handbook*, Instromet, 2000.
7. Elster, diaphragma meter, brosure. 2010
8. Rotary Meter delta brosure, 2010

**LAMPIRAN 1**  
**Data nilai roughnes ampelas type AA 60**

**Table 4.5** Data nilai roughnes ampelas type AA 60

<b>Data Nilai Roughness Amplas</b>			
Yang diukur		: Ampelas	
Merk		: MCM / ECO	
Type		: AA 60	
Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )
4.5	6.3	4.2	5.3
3.9	5	2.7	4.4
4.8	3.1	3.3	2.8
4.5	6.4	2.7	3
3.6	5.1	4.5	3.2
3.8	5	5.3	5.3
5.3	3.4	5	3.3
3.8	3	3.8	4.6
4.2	4.5	2.3	3.8
4	4.5	5.7	3.9
Rata - rata Ra		4.20	$\mu\text{m}$

**LAMPIRAN 2**  
**Data nilai roughnes ampelas type AA 100**

**Table 4.6** Data nilai roughnes ampelas type AA 100

<b>Data Nilai Roughness Amplas</b>			
Yang diukur		: Ampelas	
Merk		: MCM / ECO	
Type		: AA 100	
Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )
7	5	6.3	7.5
6.4	7.2	5.9	8
4.3	6	5.5	5.9
5.3	6.4	6.7	5.5
7	5.7	5.1	7.2
7.3	4	7.1	6.4
7.3	7.7	7.7	6.7
8	7.6	5	6
4	4.7	5.8	6.8
7.9	7	5.1	5.7
Rata - rata Ra		6.29	$\mu\text{m}$

**LAMPIRAN 3**  
**Data nilai roughnes ampelas type AA 180**

**Table 4.7** Data nilai roughnes ampelas type AA 180

<b>Data Nilai Roughness Amplas</b>			
Yang diukur		: Ampelas	
Merk		: MCM / ECO	
Type		: AA 180	
Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )
4.7	8.7	11	5.3
6.7	8.2	5	10.3
7.8	6.1	4.2	8.5
7	9	7.5	6.2
8.4	6.9	5	7.6
6	5.3	7.9	7.6
8.3	9.7	8	6.9
7.2	6.5	8.8	7.5
7.1	8.4	10	7.6
6.4	6.9	7.5	6.4
Rata - rata Ra		7.35	$\mu\text{m}$

**LAMPIRAN 4**  
**Data nilai roughnes ampelas type AA 240**

**Table 4.8** Data nilai roughnes ampelas type AA 240

<b>Data Nilai Roughness Amplas</b>			
Yang diukur		: Ampelas	
Merk		: MCM / ECO	
Type		: AA 240	
Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )
7.5	6.7	6.1	6
6.3	8.2	6.3	6.7
8.1	8.7	7.9	8.2
6.3	8.4	8	7.7
6	7.2	8	6.9
8	6.9	7.9	7.3
5.3	8.4	7	7.6
5.6	7.4	6.4	6.2
9.1	6.6	7.6	7.7
6.6	6.5	6.9	7.8
Rata - rata Ra		7.20	$\mu\text{m}$

Jakarta, 15 april 2011

Kepada Yth,  
**ADM jurusan Teknik Mesin**  
**Universitas Indonesia**

---

**Hal: Permohonan pembuatan surat pengajuan penelitian**  
**Turbin Meter di PT. Perusahaan Gas Negara (Persero), Tbk**

---

Dengan hormat.

Dengan ini saya :

Nama : Bhre Kumara Hangga Wijaya  
Jurusan : Teknik Mesin  
Program studi : S1 ekstensi  
Nim : 0806368452  
Tahun : 2008

sedang melaksanakan penelitian dengan judul **Pengaruh kekasaran dinding pipa terhadap akurasi pengukuran aliran gas dengan turbine meter** sehubungan dengan hal tersebut diatas saya memohon untuk dibuatkan surat ijin melakukan penelitian di **Workshop Kalibrasi Turbine Meter PT.PGN Klender**, yang mana surat tersebut ditujukan kepada :

Bpk Ferry Hari Hidayat  
**PT. Perusahaan Gas Negara (Persero), Tbk.**  
SBU Distribusi Wilayah I Jawa Bagian Barat  
Bagian SDM  
Jl. M.I Ridwan Rais No.8  
Jakarta Pusat 10110  
Telp. : +62 21 3905918

dengan masa penelitian dari tgl 23 s/d 28 mei 2011

Demikian dari saya atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Hormat saya,



**Bhre kumara H.W**  
NIM : 0806368452

Mengetahui  
Dosen pembimbing



**Ir. Warjito M.Sc., Ph.D**  
NIP : 19630808199003



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK**

KAMPUS BARU U.I. DEPOK 16424

Dekanat : (021) 7863504, 7863505, Fax. 7270050

PPSTD : (021) 7270011, 7863311, Fax. 7863503

Pusat Administrasi dan Humas : (021) 78888430, 78887861, 78849046, Fax. PAF 7863507, Fax. Humas 78888076

Nomor : 09 /H2.F4.DTM?PDP/2011 Depok, 27 April 2011  
Lampiran :  
Perihal : Permohonan Data Untuk Skripsi

**KEPADA : Yth. Bpk. Ferry Hari Hidayat  
PT. Perusahaan Gas Negara ( Persero ) Tbk  
SBU Distribusi Wilayah 1 Jawa Bagian Barat  
Bagian SDM  
Jl. M.I Ridwan Rais No.8 Jakarta Pusat 10110**

Persyaratan dalam Kurikulum Departemen Teknik Mesin & Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Indonesia, mewajibkan setiap mahasiswa menyelesaikan Tugas Skripsi. Dalam penyelesaian tugas tersebut, diperlukan adanya data teknis sebagai bahan masukan.

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, maka bersama ini dengan hormat kami mengharapkan bantuan Bapak/ Ibu/ Saudara, untuk dapat memberikan data yang diperlukan kepada mahasiswa kami, sebagai berikut :

N0	N a m a	N0 Pokok Mhs	Semester
1	Bhre Kumara Hangga Wijaya	080636 8452	VI

Data-datanya adalah

**Pengaruh Kekerasan Dinding Pipa Terhadap Akurasi Pengukuran Aliran Gas dengan Turbine Meter.**

Penelitian akan dilakukan di Worksoop Kalibrasi Turbin Meter PT. PGN Klender, dengan masa Penelitian dari Tgl 23 s/d 28 Mei 2011.

Demikian hal ini disampaikan, atas perhatian dan bantuan yang Bapak/ Ibu/ Saudara berikan kami ucapkan terima kasih.

Departemen Teknik Mesin FTUI  
Ketua

  
Dr. Ir. Harinaldi, M. Eng  
NIP. 19681030.1993.03.1.001



Gas Negara

Nomor : 02200. S / HM.02.03 / SBU1SDM / 2011  
Sifat : -  
Lampiran : -  
Perihal : Persetujuan Permohonan Data Untuk Skripsi

Jakarta, 19 Mei 2011

Yang Terhormat,  
Rektor Universitas Indonesia  
Fakultas Teknik  
Kampus Baru UI  
Depok  
Telp. (0217863504

Sehubungan dengan Surat Saudara Nomor : 09/H2.F4.DTM/PDP/2011 tanggal 27 April 2011 perihal Ijin Permohonan Data Untuk Skripsi mahasiswa jurusan Teknik Mesin dan Perkapalan Universitas Indonesia, dengan ini kami beritahukan bahwa :

1. Kami dapat menyetujui, sebagai berikut :

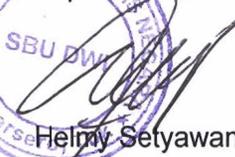
No	Nama	NIS	Keterangan
1.	Bhre Kumara Hangga Wijaya	0806368452	Teknik Mesin

untuk melakukan pengambilan data skripsi pada tanggal 23 s.d 28 Mei 2011 di lingkungan PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk, SBU Distribusi Wilayah I. Selama melakukan pengambilan data skripsi para mahasiswa akan ditempatkan di Departemen Operasi dan Pemeliharaan Area Klender dengan mentor Bapak Hery Gunawan.

- Untuk pelaksanaannya agar yang bersangkutan menghubungi Bagian Pengembangan SDM Hosbu (Sdri. Winda Wati/Sdr. Feri Arif Hidayat).
- Selama melakukan pengambilan data yang bersangkutan diwajibkan untuk mentaati tata tertib/disiplin kerja yang berlaku di lingkungan PT Perusahaan Gas Negara (Persero), Tbk.
- Selama melakukan pengambilan data di lingkungan PT Perusahaan Gas Negara (Persero), Tbk tidak diberikan fasilitas untuk mengakses informasi yang menyangkut rahasia Perusahaan.

Atas perhatiannya diucapkan terima kasih.

Kepala Dinas SDM



Helmy Setyawan

Certificate No. JKT-0403915



Pengaruh kekasaran..., Bhre Kumara Hangga Wijaya, FT UI, 2011

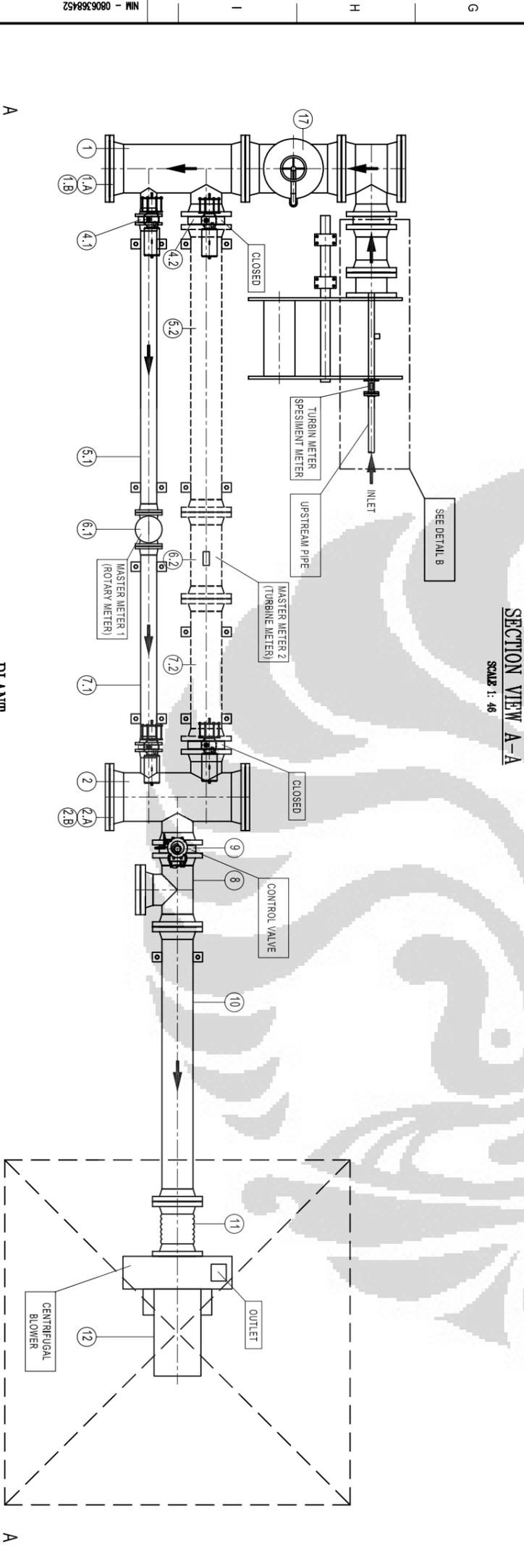
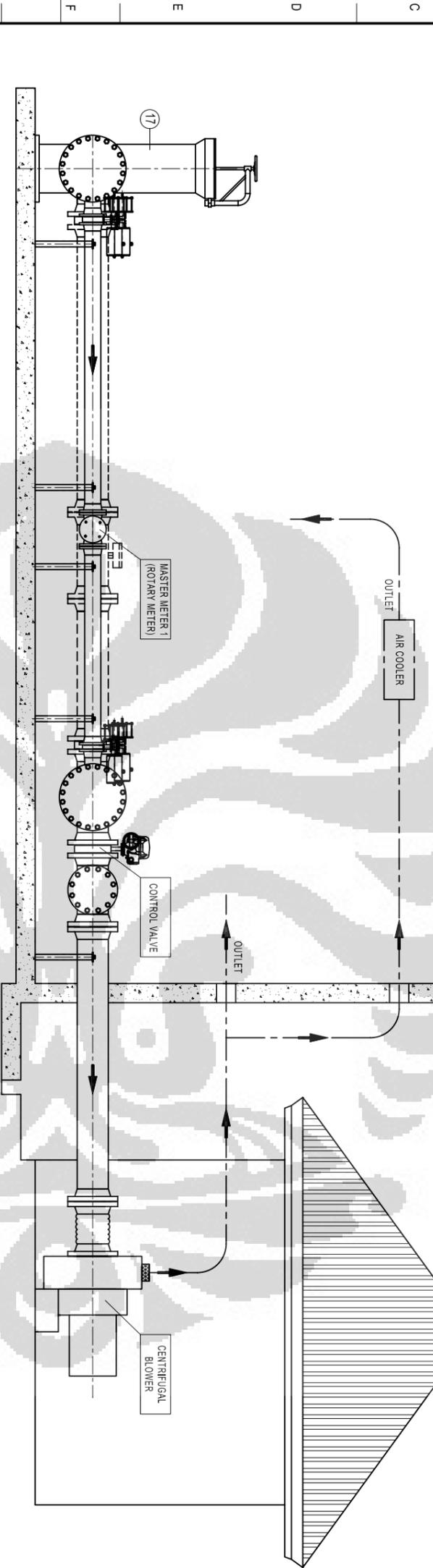
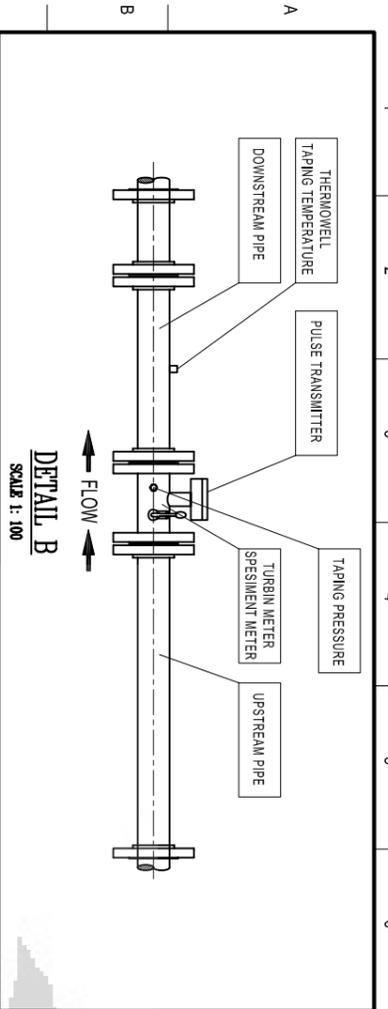
PT. PERUSAHAAN GAS NEGARA (Persero) Tbk  
SBU DISTRIBUSI WILAYAH I JAWA BAGIAN BARAT

KANTOR PUSAT

Jl. M. Sudirman Rais No. 8 Jakarta 10110

Telp. (62-21) 350 2012, 351 3453-55, 351 3453-54, 352 1428

Faks. (62-21) 381 1819, 351 3458 Homepage : www.pgn.co.id



**NOTES**

1. HEADER 1 DN 500
- 1A. WNRF DN 500
- 1B. BLIND FLANGE DN 500
2. HEADER 2 DN 200
- 2A. WNRF DN 500
- 2B. BLIND FLANGE
3. MANIFOLD DN 250
- 4.1 BUTTERFLY VALVE DN 150
- 4.2 BUTTERFLY VALVE DN 300
- 4.3 BUTTERFLY VALVE DN 250
5. INLET PIPE
- 5.1 UPSTREAM DN 150
- 5.2 UPSTREAM DN 300
- 6.1 MASTER METER 1 DN 150
- 6.2 MASTER METER 2 DN 300
- MEAS. RANGE : 6.5 - 650 M<sup>3</sup>/H
- 7.1 DOWNSTREAM DN 150
- 7.2 DOWNSTREAM DN 300
8. AXIAL COMPENSATOR DN 300
9. MOTOR CONTROLLER
10. HEADER 3 DN 300
11. FLEXIBEL PIPE
- 12 CENTRIFUGAL BLOWER
13. UPSTREAM PIPE
14. DOWNSTREAM
15. AIR COOLER
16. BLOWER HOUSE
17. FILTER

DATE	TITLE

REV	DATE	BY	CHKD	APPROVED
AS BUILT				

REV	DATE	BY	CHKD	APPROVED
AS BUILT				

PT. PERUSAHAAN GAS NEGARA.TPK  
 UNIVERSITAS INDONESIA  
 PENGARUH KEKASARAN DINDING PIPA TERHADAP  
 AKURASI PENGUKURAN ALIRAN GAS DENGAN  
 TURBINE METER

TITLE:  
 GENERAL ARRANGEMENT  
 METER KALIBRATOR

SCALE : 1 : 46  
 PROJECT : NIM - 0806368452  
 PENELITIAN