

**ANALISA RUGI KALOR DAN TEKANAN UAP BEKAS
(EXHAUST STEAM)
PADA INSTALASI PIPA UAP BEKAS
(Studi Kasus di Pabrik Gula Kebon Agung)**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

ATOUR ROHMAN

NIM : 0410623015

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN**

2007

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA RUGI KALOR DAN TEKANAN UAP BEKAS (*EXHAUST STEAM*) PADA INSTALASI PIPA UAP BEKAS (Studi Kasus di Pabrik Gula Kebon Agung)

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

ATOUR ROHMAN
NIM : 0410623015

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Djoko Sutikno, M. Eng
NIP : 131 276 249

Agung Sugeng W.,ST.,MT.
NIP : 132 206 469

**ANALISA RUGI KALOR DAN TEKANAN UAP BEKAS
(EXHAUST STEAM)
PADA INSTALASI PIPA UAP BEKAS
(Studi Kasus di Pabrik Gula Kebon Agung)**

Disusun oleh:

ATOOR ROHMAN
NIM : 0410623015

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 3 Mei 2007

Skripsi 1

Skripsi 2

Prof. Ir. I. N. Gede Wardana. M.Eng, Ph. D
NIP : 131 286 308

Ir. Handono Sasmito Meng. Sc
NIP : 130 818 811

Komprehensif

Sugiarto, ST., MT
NIP : 132 137 966

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Bambang Indrayadi, MT
NIP : 131 653 469

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena hanya dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisa Rugi Kalor Dan Tekanan Uap Bekas (*Exhaust Steam*) Pada Instalasi Pipa Uap Bekas** (Studi Kasus di Pabrik Gula Kebon Agung)”.

Skripsi ini dibuat oleh penulis sebagai salah satu persyaratan bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Atas dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Bambang Indrayadi, MT. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M. Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin dan dosen pembimbing pertama.
3. Bapak Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng. Sc. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konversi Energi.
4. Bapak Agung Sugeng Widodo ST., MT. selaku dosen pembimbing kedua.
5. Bapak Himawan Ratmanto ST. selaku pembimbing di Pabrik Gula Kebon Agung.
6. Seluruh staf pengajar Jurusan Teknik Mesin.
7. Kedua orangtuaku yang telah sangat bersabar mendukungku.
8. Kedua adikku beserta suami dan keponakan-keponakanku atas dukungannya.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin yang secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dengan keterbatasan ilmu yang penulis miliki, tentunya skripsi ini masih banyak membutuhkan masukan. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaannya. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Mei 2007

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
ABSTRAK	xi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Uap	4
2.2 Kebutuhan Bahan Bakar	4
2.3 Perpindahan Panas	
2.3.1 Konduksi	5
2.3.2 Konveksi	6
2.3.3 Radiasi	6
2.4 Perpindahan Panas Pada Pipa	7
2.5 Kesetimbangan Energi Aliran Dalam Pipa	8
2.6 Perpindahan Panas Pada Pipa Komposit	8
2.7 Kekekalan Massa	9
2.8 Aliran Laminer dan Turbulen	10
2.9 <i>Nusslet Number</i>	11
2.10 <i>Head Losses</i>	12
2.10.1 <i>Major Losses</i>	14
2.10.2 <i>Minor Losses</i>	15
III. METODOLOGI	
3.1 Metodologi Penelitian	20

3.2	Obyek Analisa	21
3.4	Diagram Alir Pengerjaan	21
IV. PERHITUNGAN		
4.1	Konversi dan Laju Massa	23
4.2	Dimensi Pipa	26
4.3	Penurunan Tekanan	26
4.4	<i>Heat Losses</i> (Rugi Panas)	28
4.5	Temperatur Uap di titik 2	31
4.6	Laju Massa Uap baru Yang Ditambahkan	34
4.7	Modifikasi	34
4.8	Diameter Kritis	35
4.9	Selisih Laju Masa Uap baru Yang Ditambahkan	35
4.10	Penghematan Bahan Bakar	36
V. PEMBAHASAN		
5.1	<i>Head Losses</i>	38
5.2	<i>Heat Losses</i>	39
5.3	Modifikasi	40
VI. PENUTUP		
6.1	Kesimpulan	42
6.2	Saran	42
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Harga konstanta rumus <i>Hilpert</i>	12
Tabel 2.2	Harga K untuk nosel	17
Tabel 4.1	Rangkuman hasil perhitungan	34
Tabel 4.2	Rangkuman hasil perhitungan modifikasi	35
Tabel 4.3	Saluran masuk <i>steam header</i>	36
Tabel 5.1	Saluran menuju <i>steam header</i>	40



DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perpindahan panas konduksi satu dimensi pada dinding	5
Gambar 2.2	Perpindahan panas konveksi pada plat	6
Gambar 2.3	Perpindahan panas konduksi dan konveksi pada pipa	7
Gambar 2.4	<i>Heat loss</i> pada <i>internal flow</i>	8
Gambar 2.5	Perpindahan panas pada pipa komposit	9
Gambar 2.6	Perpindahan panas melewati lapisan fluida	11
Gambar 2.7	Macam macam bentuk <i>entrance flow</i>	15
Gambar 2.8	Macam-macam bentuk <i>exit flow</i>	16
Grafik 2.1	Koefisien rugi untuk <i>sudden contraction</i>	16
Grafik 2.2	Koefisien rugi untuk <i>sudden expansion</i>	17
Grafik 2.3	Harga C_p untuk difuser	18
Gambar 4.1	Pipa nomer 1	26
Grafik 4.1	Distribusi p saluran turbin <i>IDF</i>	32
Grafik 4.2	<i>Head loss</i> saluran turbin <i>IDF</i>	32
Grafik 4.3	Distribusi T saluran turbin <i>IDF</i>	33
Grafik 4.4	<i>q loss</i> saluran turbin <i>IDF</i>	33

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Tabel 1	<i>Properties of superheated water vapor</i>
Tabel 2	Uap panas lanjut
Tabel 3	Udara pada tekanan atmosfer
Tabel 4	Konduktifitas termal material
Tabel 5	Dimensi pipa
Tabel 6	Dimensi belokan 90° pendek
Tabel 7	Dimensi tee diameter tidak sama
Tabel 8	Dimensi tee diameter sama
Tabel 9	K untuk sambungan tee
Tabel 10	Dimensi katup
Tabel 11	Harga koefisien tahan katup dan alat penyambung
Tabel 12	Saluran Turbin <i>IDF</i>
Tabel 13	Saluran Turbin <i>Cane Cutter</i>
Tabel 14	Saluran Turbin Gilingan
Tabel 15	Saluran Turbin PLTU
Tabel 16	Saluran <i>Evaporator</i>
Tabel 17	Saluran Masakan
Tabel 18	Saluran Turbin <i>FDF</i>
Tabel 19	Saluran Turbin <i>FWP. Yoshimine</i>
Tabel 20	Saluran Turbin <i>FWP. Stork</i>
Tabel 21	Saluran Turbin <i>Unigrator</i>
Tabel 22	Saluran Turbin Gilingan 4
Tabel 23	Saluran Turbin Gilingan 3
Tabel 24	Saluran Turbin Gilingan 2
Tabel 25	Saluran Turbin Gilingan 1
Tabel 26	Saluran Turbin PLTU 3
Tabel 27	Modifikasi Saluran Turbin <i>IDF</i>
Tabel 28	Modifikasi Saluran Turbin <i>Cane Cutter</i>

Tabel 29	Modifikasi Saluran Turbin Gilingan
Tabel 30	Modifikasi Saluran Turbin PLTU
Tabel 31	Modifikasi Saluran Turbin <i>FDF</i>
Tabel 32	Modifikasi Saluran Turbin <i>FWP. Yoshimine</i>
Tabel 33	Modifikasi Saluran Turbin <i>FWP. Stork</i>
Tabel 34	Modifikasi Saluran Turbin <i>Unigrator</i>
Tabel 35	Modifikasi Saluran Turbin Gilingan 4
Tabel 36	Modifikasi Saluran Turbin Gilingan 3
Tabel 37	Modifikasi Saluran Turbin Gilingan 2
Tabel 38	Modifikasi Saluran Turbin Gilingan 1
Tabel 39	Modifikasi Saluran Turbin PLTU 3
Grfaik 1	Kekasaran relatif pada material pipa
Grafik 2	Faktor gesekan pada aliran pipa
Grafik 3	Distribusi p saluran turbin <i>IDF</i>
Grafik 4	<i>Head loss</i> saluran turbin <i>IDF</i>
Grafik 5	Distribusi T saluran turbin <i>IDF</i>
Grafik 6	<i>q loss</i> saluran turbin <i>IDF</i>
Grafik 7	Distribusi p saluran turbin <i>cane cutter</i>
Grafik 8	<i>Head loss</i> saluran turbin <i>cane cutter</i>
Grafik 9	Distribusi T saluran turbin <i>cane cutter</i>
Grafik 10	<i>q loss</i> saluran turbin <i>cane cutter</i>
Grafik 11	Distribusi p saluran turbin gilingan 5
Grafik 12	<i>Head loss</i> saluran turbin gilingan 5
Grafik 13	Distribusi T saluran turbin gilingan 5
Grafik 14	<i>q loss</i> saluran turbin glilingan 5
Grafik 15	Distribusi p saluran turbin PLTU1
Grafik 16	<i>Head loss</i> saluran turbin PLTU 1
Grafik17	Distribusi T saluran turbin PLTU 1
Grafik 18	<i>q loss</i> saluran turbin PLTU 1
Grafik 19	Distribusi p saluran <i>evaporator</i>
Grafik 20	<i>Head loss</i> saluran <i>evaporator</i>
Grafik 21	Distribusi T saluran <i>evaporator</i>

Grafik 22	<i>q loss saluran evaporator</i>
Grafik 23	Distribusi p saluran masakan
Grafik 24	<i>Head loss saluran masakan</i>
Grafik 25	Distribusi T saluran masakan
Grafik 26	<i>q loss saluran masakan</i>
Grafik 27	Distribusi p saluran turbin <i>FDF</i>
Grafik 28	<i>Head loss saluran turbin FDF</i>
Grafik 29	Distribusi T saluran turbin <i>FDF</i>
Grafik 30	<i>q loss saluran turbin FDF</i>
Grafik 31	Distribusi p saluran turbin <i>FWP. Yoshimine</i>
Grafik 32	<i>Head loss saluran turbin FWP. Yoshimine</i>
Grafik 33	Distribusi T saluran turbin <i>FWP. Yoshimine</i>
Grafik 34	<i>q loss saluran turbin FWP. Yoshimine</i>
Grafik 35	Distribusi p saluran turbin <i>FWP. Stork</i>
Grafik 36	<i>Head loss saluran turbin FWP. Stork</i>
Grafik 37	Distribusi T saluran turbin <i>FWP. Stork</i>
Grafik 38	<i>q loss saluran turbin FWP. Stork</i>
Grafik 39	Distribusi p saluran turbin <i>unigrator</i>
Grafik 40	<i>Head loss saluran turbin unigrator</i>
Grafik 41	Distribusi T saluran turbin <i>unigrator</i>
Grafik 42	<i>q loss saluran turbin unigrator</i>
Grafik 43	Distribusi p saluran turbin gilingan 4
Grafik 44	<i>Head loss saluran turbin gilingan 4</i>
Grafik 45	Distribusi T saluran turbin gilingan 4
Grafik 46	<i>q loss saluran turbin gilingan 4</i>
Grafik 47	Distribusi p saluran turbin gilingan 3
Grafik 48	<i>Head loss saluran turbin gilingan 3</i>
Grafik 49	Distribusi T saluran turbin gilingan 3
Grafik 50	<i>q loss saluran turbin gilingan 3</i>
Grafik 51	Distribusi p saluran turbin gilingan 2
Grafik 52	<i>Head loss saluran turbin gilingan 2</i>
Grafik 53	Distribusi T saluran turbin gilingan 2

Grafik 54	<i>q loss</i> saluran turbin gilingan 2
Grafik 55	Distribusi <i>p</i> saluran turbin gilingan 1
Grafik 56	<i>Head loss</i> saluran turbin gilingan 1
Grafik 57	Distribusi <i>T</i> saluran turbin gilingan 1
Grafik 58	<i>q loss</i> saluran turbin gilingan 1
Grafik 59	Distribusi <i>p</i> saluran PLTU 3
Grafik 60	<i>Head loss</i> saluran turbin PLTU 3
Grafik 61	Distribusi <i>T</i> saluran turbin PLTU 3
Grafik 62	<i>q loss</i> saluran turbin PLTU 3
Grafik 63	Distribusi <i>p</i> modifikasi saluran turbin <i>IDF</i>
Grafik 64	<i>Head loss</i> modifikasi saluran turbin <i>IDF</i>
Grafik 65	Distribusi <i>T</i> modifikasi saluran turbin <i>IDF</i>
Grafik 66	<i>q loss</i> modifikasi saluran turbin <i>IDF</i>
Grafik 67	Distribusi <i>p</i> modifikasi saluran turbin <i>cane cutter</i>
Grafik 68	<i>Head loss</i> modifikasi saluran turbin <i>cane cutter</i>
Grafik 69	Distribusi <i>T</i> modifikasi saluran <i>cane cutter</i>
Grafik 70	<i>q loss</i> modifikasi saluran turbin <i>cane cutter</i>
Grafik 71	Distribusi <i>p</i> modifikasi saluran turbin gilingan 5
Grafik 72	<i>Head loss</i> modifikasi saluran turbin gilingan 5
Grafik 73	Distribusi <i>T</i> modifikasi saluran turbin gilingan 5
Grafik 74	<i>q loss</i> modifikasi saluran turbin gilingan 5
Grafik 75	Distribusi <i>p</i> modifikasi saluran turbin PLTU 1
Grafik 76	<i>Head loss</i> modifikasi saluran turbin PLTU 1
Grafik 77	Distribusi <i>T</i> modifikasi saluran turbin PLTU 1
Grafik 78	<i>q loss</i> modifikasi saluran turbin PLTU 1
Grafik 79	Distribusi <i>p</i> modifikasi saluran turbin <i>FDF</i>
Grafik 80	<i>Head loss</i> modifikasi saluran turbin <i>FDF</i>
Grafik 81	Distribusi <i>T</i> modifikasi saluran turbin <i>FDF</i>
Grafik 82	<i>q loss</i> modifikasi saluran turbin <i>FDF</i>
Grafik 83	Distribusi <i>p</i> modifikasi saluran turbin <i>FWP. Yoshimine</i>
Grafik 84	<i>Head loss</i> modifikasi saluran turbin <i>FWP. Yoshimine</i>
Grafik 85	Distribusi <i>T</i> modifikasi saluran turbin <i>FWP. Yoshimine</i>

- Grafik 86 *q loss* modifikasi saluran turbin FWP. Yoshimine
- Grafik 87 Distribusi p modifikasi saluran turbin FWP. Stork
- Grafik 88 *Head loss* modifikasi saluran turbin FWP. Stork
- Grafik 89 Distribusi T modifikasi saluran turbin FWP. Stork
- Grafik 90 *q loss* modifikasi saluran turbin FWP. Stork
- Grafik 91 Distribusi p modifikasi saluran turbin *unigrator*
- Grafik 92 *Head loss* modifikasi saluran turbin *unigrator*
- Grafik 93 Distribusi T modifikasi saluran turbin *unigrator*
- Grafik 94 *q loss* modifikasi saluran turbin *unigrator*
- Grafik 95 Distribusi p modifikasi saluran turbin gilingan 4
- Grafik 96 *Head loss* modifikasi saluran turbin gilingan 4
- Grafik 97 Distribusi T modifikasi saluran turbin gilingan 4
- Grafik 98 *q loss* modifikasi saluran turbin gilingan 4
- Grafik 99 Distribusi p modifikasi saluran turbin gilingan 3
- Grafik 100 *Head loss* modifikasi saluran turbin gilingan 3
- Grafik 101 Distribusi T modifikasi saluran turbin gilingan 3
- Grafik 102 *q loss* modifikasi saluran turbin gilingan 3
- Grafik 103 Distribusi p modifikasi saluran turbin gilingan 2
- Grafik 104 *Head loss* modifikasi saluran turbin gilingan 2
- Grafik 105 Distribusi T modifikasi saluran turbin gilingan 2
- Grafik 106 *q loss* modifikasi saluran turbin gilingan 2
- Grafik 107 Distribusi p modifikasi saluran turbin gilingan 1
- Grafik 108 *Head loss* modifikasi saluran turbin gilingan 1
- Grafik 109 Distribusi T modifikasi saluran turbin gilingan 1
- Grafik 110 *q loss* modifikasi saluran turbin gilingan 1
- Grafik 111 Distribusi p modifikasi saluran turbin PLTU 3
- Grafik 112 *Head loss* modifikasi saluran PLTU 3
- Grafik 113 Distribusi T modifikasi saluran turbin PLTU 3
- Grafik 114 *q loss* modifikasi saluran turbin PLTU 3

Data Dari Pabrik Gula Kebon Agung

ABSTRAK

Atour Rohman, Mei 2007

Analisa Rugi Kalor dan Tekanan Uap Bekas (*Exhaust Steam*) pada Instalasi Pipa Uap Bekas (Studi Kasus di Pabrik Gula Kebon Agung)

Skripsi Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Djoko Sutikno, M. Eng
2. Agung Sugeng Widodo ST., MT

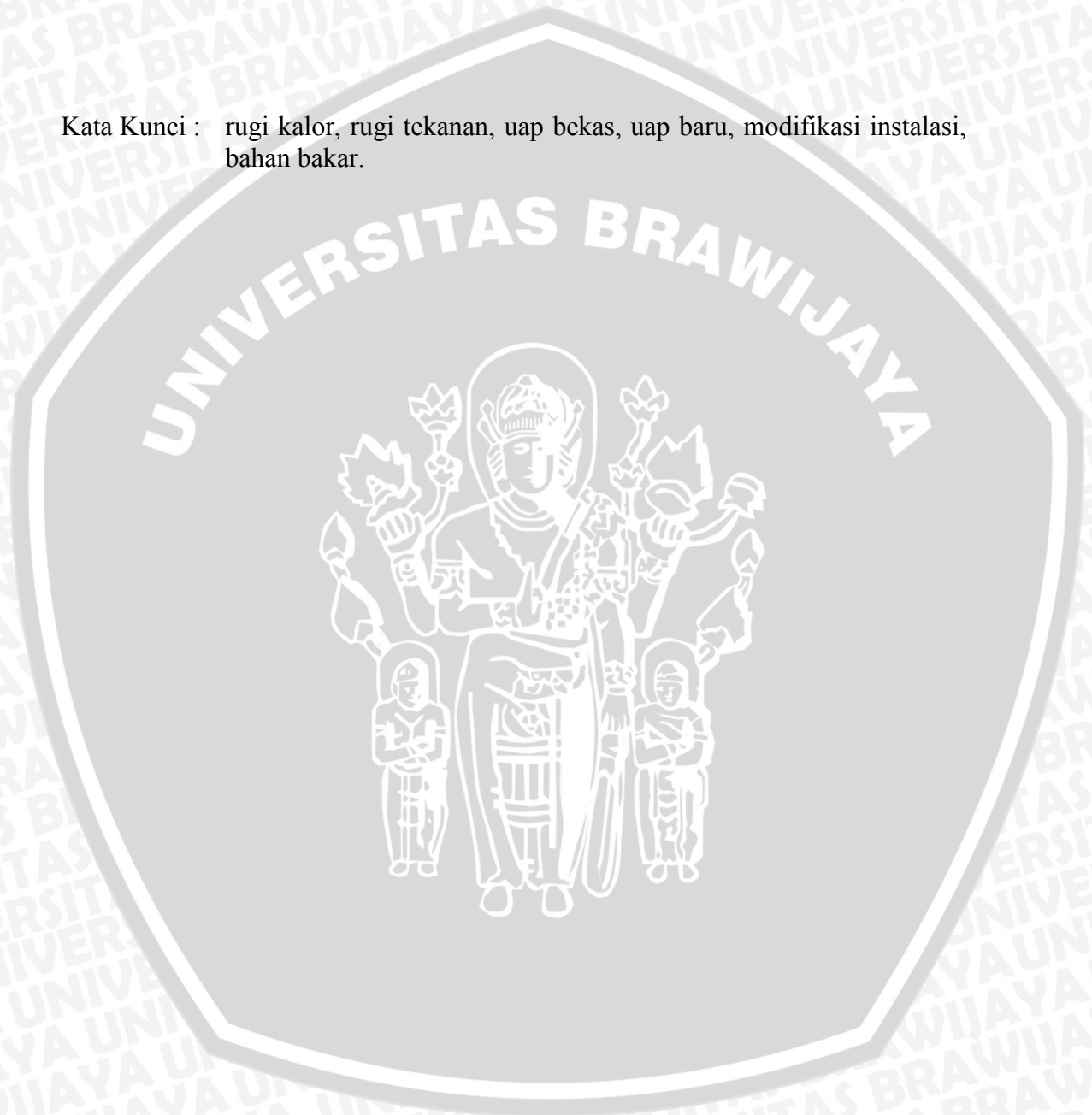
Saat fluida mengalir melalui pipa, maka akan terjadi rugi energi (*losses*). Pabrik Gula Kebon Agung memanfaatkan uap bekas untuk menguapkan air yang terkandung dalam nira pada stasiun *evaporator* dan masakan. Uap bekas yang ada di Pabrik Gula Kebon Agung mempunyai tekanan awal 1 kg/cm^2 dan $1,2 \text{ kg/cm}^2$ dengan temperatur 140°C dan 160°C . Uap ini akan dimanfaatkan lagi pada instalasi masakan dan *evaporator*. Untuk mendapatkan kapasitas nira kental sebesar 48 ton/jam diperlukan laju massa uap yang masuk *evaporator* sebesar 139,521 ton/jam pada tekanan $0,8 \text{ kg/cm}^2$ dan temperatur 120°C . Sedangkan untuk menghasilkan kapasitas nira kristal 25 kl/jam diperlukan laju massa uap yang masuk ke masakan sebesar 58 ton/jam pada tekanan $0,7 \text{ kg/cm}^2$ dan temperatur 115°C . Masalah yang timbul dalam hal ini adalah laju kalor uap bekas yang masuk ke kedua instalasi ini lebih kecil dari laju kalor yang diharapkan. Hal ini terjadi karena terdapat rugi energi saat uap bekas mengalir dari sumber uap bekas menuju kedua instalasi tersebut, sehingga agar laju kalor uap sesuai dengan yang diharapkan maka perlu ditambahkan uap baru. Penambahan uap baru ini tentu merupakan kebutuhan energi uap yang harus diminimalkan mengingat untuk menghasilkan uap perlu energi, dalam hal ini adalah energi kimia bahan bakar. Untuk itu perlu dilakukan analisa berapa besar kerugian tekanan dan energi kalor uap bekas pada instalasi pipa yang ada (*existing piping system*) dan tindakan apa yang dapat dilakukan untuk memodifikasi instalasi pipa dengan tujuan meminimalkan rugi energi kalor yang terjadi pada uap dalam instalasi pipa.

Dari hasil perhitungan didapatkan *head loss* yang terjadi pada saluran pipa sebelum masuk *steam header* adalah sebesar 27503,035 mku (meter kolom uap), *head loss* pada saluran pipa keluar *steam header* adalah sebesar 8052,834 mku. Sedangkan *heat loss* yang terjadi pada saluran pipa sebelum masuk *steam header* adalah sebesar 2490,67 kW dan saluran pipa keluar *steam header* sebesar 786,38 kW. Dari *losses* sebesar 3277,05 kW diperlukan penambahan uap baru sebesar 1,830516 [kg/dt]. Setelah dilakukan modifikasi, yaitu penambahan ketebalan *rock wolle* 1 cm, aluminium 2 mm dan penghilangan pipa nomer 6,8,16,18,34 dan 103, *head loss* yang terjadi pada saluran pipa sebelum masuk *steam header* sebesar 27712,317 mku dan *heat loss* sebesar 2951,541 kW. Dari modifikasi ini laju massa uap baru yang ditambahkan menjadi sebesar 1,725103 [kg/dt]. Dengan selisih laju massa uap baru yang ditambahkan sebesar 0,105413 [kg/dt], maka bahan bakar (minyak bakar) yang dihemat adalah sebesar 941,76 [lt/hari].

Tekanan uap semakin turun dengan semakin panjang instalasi pipa. Hal ini dikarenakan dengan semakin panjang instalasi pipa maka semakin besar *head loss*

yang terjadi. Temperatur uap semakin turun dengan semakin panjang instalasi pipa. Hal ini dikarenakan dengan semakin panjang instalasi pipa maka semakin besar *heat loss* yang terjadi. *Heat loss* akan lebih besar pada pipa dengan diameter yang lebih besar karena permukaan pipa menjadi lebih besar. Dari analisa instalasi pipa yang telah dimodifikasi didapatkan penambahan uap baru lebih sedikit sehingga konsumsi bahan bakar juga menjadi lebih sedikit.

Kata Kunci : rugi kalor, rugi tekanan, uap bekas, uap baru, modifikasi instalasi, bahan bakar.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan sesuatu yang abstrak namun dapat kita rasakan dan kita manfaatkan guna pemenuhan kebutuhan manusia. Energi dapat kita dapatkan dari berbagai sumber dan bentuk. Energi tidak dapat diciptakan atau pun dimusnahkan, melainkan kita hanya dapat merubah bentuk energi dari bentuk satu ke bentuk yang lain agar dapat menghasilkan tenaga yang dapat kita manfaatkan, sehingga kita mengenal mesin konversi energi.

Sistem tenaga uap adalah sistem yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas untuk menghasilkan uap yang memiliki energi panas untuk dimanfaatkan menghasilkan daya mekanik. Sistem yang biasa digunakan untuk menghasilkan uap adalah ketel uap, sedangkan untuk mengkonversi energi panas uap menjadi daya mekanik digunakan turbin uap.

Pabrik gula Kebon Agung adalah pabrik yang memanfaatkan sistem tenaga uap sebagai sistem operasional produksi, sehingga sistem instalasinya tidak lepas dari perpipaan. Pipa dalam hal ini berfungsi untuk menyalurkan uap, yang dihasilkan oleh ketel uap, ke tempat dimana dilakukan proses produksi. Energi yang terkandung dalam uap ini akan digunakan dengan jalan dikonversikan sesuai dengan kebutuhan proses produksi.

Seperti halnya dengan pabrik-pabrik lain pada umumnya, masalah efisiensi juga merupakan salah satu hal yang penting pada pabrik gula. Uap bekas (*exhaust steam*) adalah uap yang telah keluar dari turbin uap. Uap bekas ini akan dimanfaatkan untuk proses penguapan kadar air pada nira dalam *evaporator* dan masakan. Ketika uap melewati pipa guna disalurkan ke tempat-tempat yang diinginkan untuk proses lain, tentu akan banyak terjadi rugi-rugi, dimana rugi-rugi ini akan menurunkan energi uap bekas. Rugi-rugi ini terjadi karena berbagai faktor, misalnya gesekan uap dengan dinding pipa, belokan pada instalasi pipa, dan hilangnya panas uap karena lingkungan sekitar. Jadi secara umum dapat dikatakan rugi rugi ini diakibatkan karena perancangan instalasi pipa saluran uap yang kurang bagus. Rugi-rugi ini akan menyebabkan turunnya energi yang

terkandung dalam uap, sehingga akan mengurangi kandungan energi uap yang akan digunakan dalam proses produksi gula.

Uap bekas yang ada di pabrik gula Kebon Agung mempunyai tekanan awal 1 kg/cm^2 sampai $1,2 \text{ kg/cm}^2$ dan temperatur 140°C sampai 160°C . Uap ini akan dimanfaatkan lagi pada instalasi masakan dan *evaporator*. Untuk mendistribusikan uap bekas ke kedua instalasi tersebut digunakan instalasi perpipaan. Untuk mendapatkan kapasitas nira kental sebesar 48 ton/jam diperlukan laju masa uap yang masuk *evaporator* sebesar 139,521 ton/jam pada tekanan $0,8 \text{ kg/cm}^2$ dan temperatur 120°C . Sedangkan untuk menghasilkan kapasitas nira kristal 25 kl/jam diperlukan laju masa uap yang masuk ke masakan sebesar 58 ton/jam pada tekanan $0,7 \text{ kg/cm}^2$ dan temperatur 115°C . Masalah yang timbul dalam hal ini adalah laju kalor uap bekas yang masuk ke kedua instalasi ini lebih kecil dari laju kalor yang diharapkan, sehingga agar laju kalor uap sesuai dengan yang diharapkan maka perlu ditambahkan uap baru. Penambahan uap baru ini tentu merupakan kebutuhan energi uap yang harus diminimalkan mengingat untuk menghasilkan uap perlu energi, dalam hal ini adalah energi kimia bahan bakar. Semakin banyak uap baru yang ditambahkan untuk proses pada instalasi *evaporator* dan masakan, maka semakin banyak energi kimia bahan bakar yang dibutuhkan. Oleh karena itu agar tidak terjadi pemborosan bahan bakar, maka instalasi perpipaan yang memiliki *losses* minimal sangat diperlukan.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan berdasarkan latar belakang seperti di atas, maka permasalahan yang akan diteliti pada skripsi ini adalah :

1. Berapa kerugian tekanan uap bekas pada instalasi pipa yang ada (*existing piping system*) ?
2. Berapa kerugian energi kalor uap bekas pada instalasi pipa yang ada (*existing piping system*) ?
3. Tindakan apa yang dapat dilakukan untuk memodifikasi instalasi pipa dengan tujuan meminimalkan rugi energi kalor yang terjadi pada uap dalam instalasi pipa ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Mengetahui besar dan distribusi kerugian tekanan yang terjadi pada uap yang mengalir pada suatu instalasi pipa.
2. Mengetahui besar dan distribusi kerugian kalor yang terjadi pada uap yang mengalir pada suatu instalasi pipa.
3. Memodifikasi instalasi pipa sehingga dapat meminimalkan penambahan uap baru untuk kapasitas nira, instalasi *evaporator* dan masakan yang tetap.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini lebih terfokus, maka kami mengambil beberapa batasan masalah seperti di bawah ini :

1. Semua data yang diambil dan perhitungan yang dilakukan berada pada kondisi tunak (*steady state*).
2. *Properties* uap bekas pada sumber adalah konstan.
3. Instalasi pipa yang dianalisa adalah instalasi pipa dari sumber uap bekas sampai *evaporator* dan masakan.
4. Analisa untuk meminimalkan rugi-rugi energi tidak memperhitungkan biaya secara ekonomis.
5. Perpindahan panas radiasi diabaikan.
6. Tahanan kontak termal pada pipa komposit diabaikan.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat bagi pembaca, antara lain:

1. Memberikan sumbangan pemikiran mengenai fenomena yang terjadi pada penelitian analisa rugi energi uap yang mengalir pada pipa.
2. Mendapatkan langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk meminimalkan rugi energi yang terjadi sehingga penambahan uap baru dapat diminimalkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uap

Fluida adalah suatu zat yang bentuknya dapat berubah secara kontinyu akibat tegangan geser berapapun kecilnya tegangan geser tersebut (Fox; 1994: 2). Dari definisi fluida ini, maka uap termasuk sebagai salah satu fluida. Pabrik Gula Kebon Agung memanfaatkan sistem tenaga uap sebagai sistem operasionalnya, dimana uap yang dihasilkan selain dipakai untuk proses produksi gula juga sebagai pembangkit listrik.

Uap bekas adalah uap yang dihasilkan ketel uap dimana uap tersebut telah dipakai untuk suatu proses. Sumber dari uap bekas berasal dari uap bekas turbin PLTU, uap bekas turbin *FDF* dan *IDF*, uap bekas turbin gilingan, uap bekas turbin *canecutter*, uap bekas turbin *unigrator*, uap bekas turbin *feed water pump*. Uap bekas dari berbagai sumber ini akan ditampung dalam *steam header* yang untuk selanjutnya akan dimanfaatkan oleh instalasi lainnya yaitu *evaporator* dan masakan.

2.2 Kebutuhan Bahan Bakar

Laju massa bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg uap dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{bb} \cdot \eta_{ketel} &= \dot{Q}_{uap} - \dot{Q}_{air} \\ m_{bb} LHV_{bb} \eta_{ketel} &= m_{uap} (h_{uap} - h_{air}) \\ m_{bb} &= \frac{m_{uap} (h_{uap} - h_{air})}{LHV_{bb} \eta_{ketel}}\end{aligned}\quad (2-1)$$

dimana : m_{bb} = laju massa bahan bakar [kg/dt]

m_{uap} = laju massa uap [kg/dt]

h_{uap} = entalpi uap [kJ/kg]

h_{air} = entalpi air [kJ/kg]

LHV_{bb} = nilai kalor rendah bahan bakar [kJ/kg]

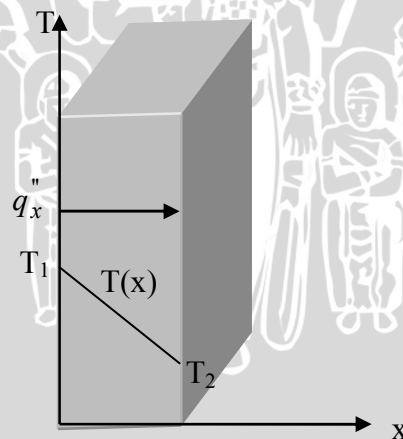
η_{ketel} = efisiensi ketel

2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah berpindahnya energi akibat adanya perbedaan temperatur (Incropera: 2). Energi panas ini berpindah dari benda atau zat yang bertemperatur lebih tinggi menuju benda atau zat yang bertemperatur lebih rendah baik dengan media ataupun tanpa media. Berdasarkan mekanisme berpindahnya panas, maka perpindahan panas dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu konduksi, konveksi, radiasi.

2.3.1 Konduksi

Perpindahan panas konduksi dapat dilihat sebagai perpindahan energi dari partikel yang berenergi lebih tinggi menuju partikel yang berenergi lebih rendah akibat adanya interaksi antara kedua partikel tersebut. Pada gas dan cair, konduksi terjadi akibat adanya benturan dan difusi antar molekul karena gerakan tak teratur molekul. Pada benda padat, konduksi terjadi karena kombinasi antara getaran molekul dan pemindahan energi oleh elektron bebas.



Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi satu dimensi pada dinding.
Sumber : Incropera; 1996: 4

Laju perpindahan panas per satuan luas pada sistem seperti gambar 2.1 dapat dirumuskan sebagai :

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (\text{Incropera; 1996: 4}) \quad (2-2)$$

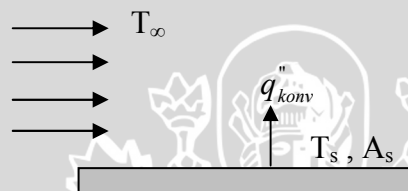
dimana : $q_x'' = \text{heat flux konduksi} \left[\frac{W}{m^2} \right]$

$k = \text{konduktifitas termal} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

$\frac{dT}{dx} = \text{gradient perubahan temperatur} \left[\frac{K}{m} \right]$

2.3.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi terjadi dengan dua mekanisme. Selain dengan mekanisme difusi, energi juga berpindah karena adanya gerakan fluida secara makroskopik.



Gambar 2.2 Perpindahan panas konveksi pada plat.

Sumber : Incropera, 1996: 285

Pada gambar 2.2, sebuah plat dengan temperatur permukaan T_s dilewati aliran udara dengan temperatur T_∞ dimana $T_s > T_\infty$, sehingga laju perpindahan panas per satuan luas dapat dirumuskan :

$$q_{konv}'' = h(T_s - T_\infty) \quad (\text{Incropera; 1996: 8}) \quad (2-3)$$

dimana : h adalah koefisien perpindahan panas konveksi $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$.

2.3.3 Radiasi

Radiasi termal adalah energi yang dipancarkan oleh suatu permukaan benda pada temperatur tertentu. Energi radiasi ini dipindahkan oleh gelombang elektromagnetik. Berbeda dengan konduksi dan konveksi, radiasi tidak memerlukan suatu media untuk berpindahnya energi termal. Besarnya laju perpindahan panas radiasi tiap satuan luas permukaan dapat kita dapatkan dengan rumus :

$$q_{rad}'' = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (\text{Incropera; 1996: 10}) \quad (2-4)$$

dimana : ε = emisivitas permukaan benda (0 – 1)

σ = konstanta Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_s = temperatur permukaan benda (K)

T_{sur} = temperatur lingkungan (K)

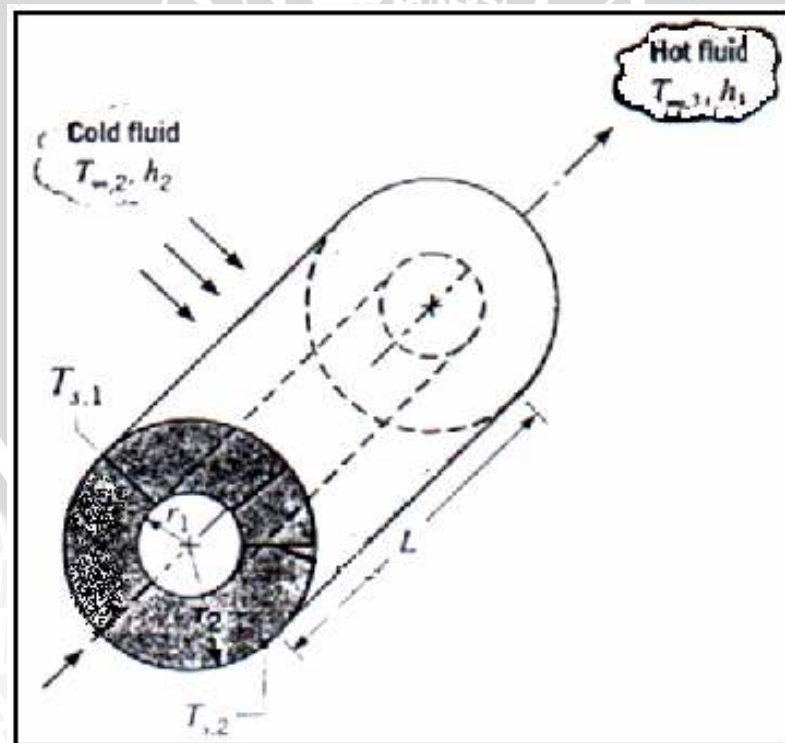
2.4 Perpindahan Panas pada Pipa

Pada sistem silinder dengan asumsi *steady state*, perpindahan panas satu dimensi (arah radial), tidak ada energi bangkitan, maka persamaan yang digunakan untuk menganalisa perpindahan yang terjadi adalah :

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(k r \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (\text{Incropera; 1996: 90}) \quad (2-5)$$

Sehingga laju perpindahan panas yang terjadi adalah :

$$q_r = -k A \frac{dT}{dr} = -k (2\pi L) \frac{dT}{dr} \quad (\text{Incropera; 1996: 90}) \quad (2-6)$$



Gambar 2.3 Perpindahan panas konduksi dan konveksi pada pipa.
Sumber : Incropera; 1996: 91

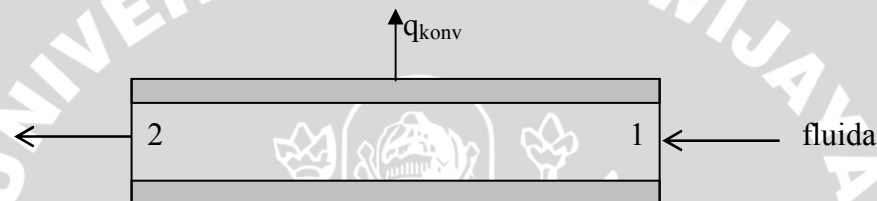
Untuk sistem seperti gambar 2.3, laju perpindahan panas konduksi yang terjadi dapat dihitung dengan rumus :

$$q_r = \frac{2\pi Lk(T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln(r_2/r_1)} \quad (\text{Incropera; 1996: 91}) \quad (2-7)$$

dimana tahanan termal konduksi pada silinder, $R_{t,kond}$ adalah :

$$R_{t,kond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} \left[\frac{^{\circ}C}{K} \right] \quad (\text{Incropera; 1996: 92}) \quad (2-8)$$

2.5 Keseimbangan Energi Aliran Dalam Pipa



Gambar 2.4 Heat loss pada internal flow

$$\dot{Q}_{1-2} = \dot{m} (h_1 - h_2)$$

$$\dot{Q}_{1-2} = \dot{m} (c_{p,1} T_1 - c_{p,2} T_2)$$

$$\dot{Q}_{1-2} = q_{konv}$$

$$T_2 = \frac{\left(\dot{m} c_{p,1} T_1 \right) - q_{konv}}{\dot{m} c_{p,2}} \quad (2-9)$$

Dimana : $\dot{Q}_{1-2}$ = laju panas dari titik 1 ke titik 2 [W]

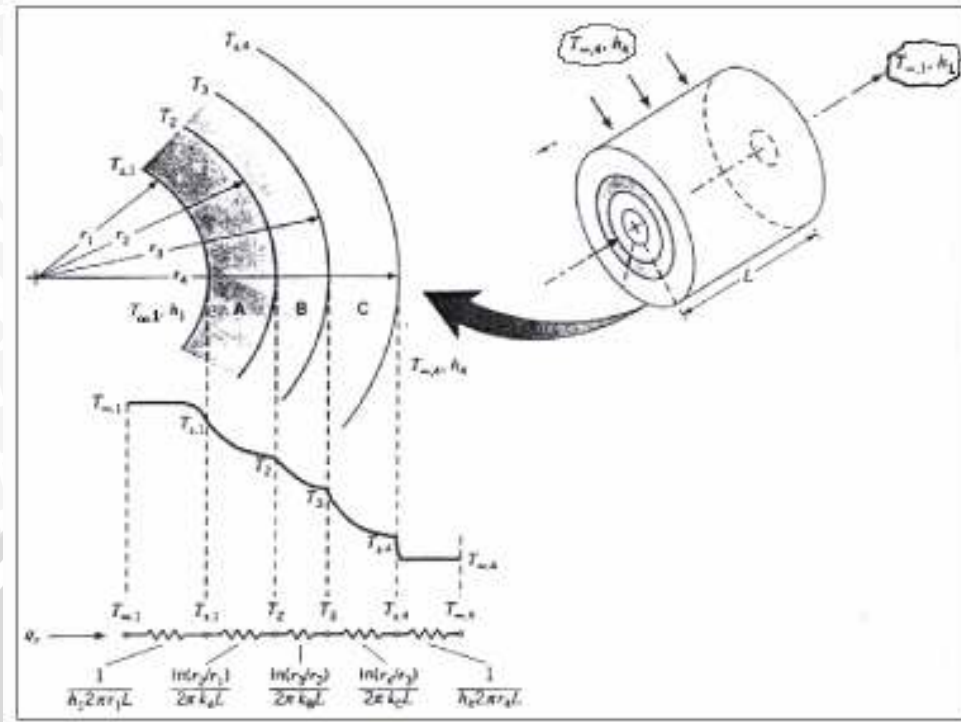
c_p = kalor jenis fluida [J/kg.K]

h = entalpi fluida [J/kg]

q_{konv} = panas keluar sistem secara konveksi [W]

2.6 Perpindahan Panas Pada Pipa Komposit

Pada pipa-pipa yang berfungsi sebagai penyalur suatu fluida biasanya terdiri atas berbagai bahan yang berlapis-lapis, seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.5 Perpindahan panas pada pipa komposit
Sumber : Incropera; 1996: 92

Perpindahan panas yang terjadi pada sistem di atas dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$q_r = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_2}} [W]$$

(Incropera; 1996: 92) (2-10)

atau dengan menggunakan koefisien perpindahan menyeluruh, U ;

$$q_r = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{total}} = U A (T_{\infty,1} - T_{\infty,2}) [W] \quad (\text{Incropera; 1996: 92}) (2-11)$$

2.7 Kekekalan Massa

Jika suatu fluida mengalir pada pipa, maka laju alir massa yang masuk ke dalam pipa sama dengan laju alir massa yang keluar pipa.

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum_i \dot{m}_i - \sum_e \dot{m}_e \quad (\text{Moran; 2000: 144}) (2-12)$$

$$\dot{m} = \rho A V$$

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \dot{m} = \text{konstan} \quad (\text{De Nevers; 1991: 83}) \quad (2-13)$$

dimana : ρ = masa jenis fluida $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

$\dot{m}$ = laju alir masa $\left[\frac{\text{kg}}{\text{dt}} \right]$

A = luas penampang pipa $\left[\text{m}^2 \right]$

V = kecepatan fluida $\left[\frac{\text{m}}{\text{dt}} \right]$

2.8 Aliran Laminer dan Turbulen

Jika suatu fluida mengalir dalam pipa dengan laju alir yang rendah, maka secara mikroskopik partikel-partikel fluida itu akan bergerak hanya dalam lapisan yang dimiliki partikel masing-masing. Artinya partikel fluida hanya bergerak ke arah aksial saja dan tidak ada partikel yang menyeberangi batas lapisan. Aliran semacam ini dinamakan aliran laminer.

Lain halnya jika fluida mengalir dengan laju aliran yang tinggi. Secara mikroskopik akan terdapat sejumlah partikel fluida yang bergerak tidak beraturan sehingga partikel tersebut dapat menyeberangi batas lapis alirannya. Hal ini menyebabkan aliran fluida menjadi terlihat tidak teratur. Aliran semacam ini dinamakan aliran turbulen.

Osborne Reynold memberikan suatu batas kuantitatif tentang fenomena aliran laminer dan aliran turbulen sebagai berikut :

- Aliran luar pada silinder
 - a. Aliran laminer $\longrightarrow$ $Re < 2 \times 10^5$
 - b. Aliran turbulen $\longrightarrow$ $Re > 2 \times 10^5$
- Aliran dalam
 - a. Aliran laminer $\longrightarrow$ $Re < 2300$
 - b. Aliran turbulen $\longrightarrow$ $Re > 2300$

Dimana bilangan *Reynold* pada aliran dalam pipa dan aliran di luar dan dalam pipa didapatkan dari rumus :

$$Re_{,D} = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (\text{Fox;1994: 33}) \quad (2-14)$$

$$= \frac{\rho \frac{m}{\rho \pi \frac{D^2}{4}} D}{\mu}$$

$$= \frac{4m}{\pi D \mu}$$

dimana : $Re_{,D}$ = bilangan *Reynold* aliran dalam pipa

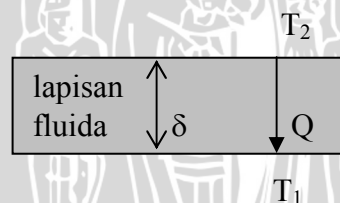
ρ = masa jenis fluida $[kg/m^3]$

$\bar{V}$ = kecepatan rata-rata fluida $[m/dtk]$

D = diameter pipa $[m]$

μ = viskositas dinamik fluida $[N \cdot dtk/m^2]$

2.9 Nusselt Number



Gambar 2.6 Perpindahan panas melewati lapisan fluida
Sumber: Cengel; 1998: 352

Jika suatu lapisan fluida dengan tebal δ dan memiliki beda temperatur $\Delta T = T_2 - T_1$, maka akan terjadi perpindahan panas melewati lapisan fluida tersebut. Mekanisme perpindahan panas bisa secara konveksi jika terdapat fluida yang bergerak atau bisa secara konduksi jika lapisan fluida tidak bergerak. Sehingga laju *heat flux* yang terjadi adalah :

$$q''_{konv} = h \Delta T$$

$$q''_{kond} = k \frac{\Delta T}{\delta}$$

Jika kedua laju heat flux dibandingkan, maka:

$$\frac{q''_{konv}}{q''_{kond}} = \frac{h \Delta T}{k \frac{\Delta T}{\delta}} = \frac{h \delta}{k} = Nu \quad (\text{Cengel; 1998: 352}) \quad (2-15)$$

Dari uraian di atas, maka bilangan *Nusselt* dapat didefinisikan sebagai perbandingan perpindahan panas konveksi melalui lapisan fluida relatif terhadap perpindahan panas konduksi melalui lapisan fluida yang sama. Semakin besar bilangan *Nusselt*, maka semakin efektif perpindahan panas konveksi yang terjadi.

Untuk aliran luar (*external flow*) melewati pipa, *Nusslet number* dapat dicari dengan rumus *Hilpert*;

$$\overline{Nu}_D = \frac{\bar{h} D}{k} = C Re_D^m Pr^{1/3} \quad (\text{Incropera; 1996: 344}) \quad (2-16)$$

Harga C dan m dapat didapatkan dari tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Harga konstanta rumus *Hilpert*

Re_D	C	m
0,4 – 4	0,989	0,330
4 – 40	0,911	0,385
40 – 4000	0,683	0,466
4000 – 40.000	0,193	0,618
40.000 – 400.000	0,027	0,805

Sumber : incropera; 1996: 344

Untuk aliran dalam (*internal flow*) melewati pipa, *Nusselt number* didapat dari rumus *Chilton-Colburn*;

$$Nu_D = 0,125 f Re_D Pr^{1/3} \quad (\text{Cengel; 1998: 381}) \quad (2-17)$$

1.10 Head Losses

Berdasarkan Hukum Kekekalan energi bahwa energi tidak dapat diciptakan ataupun dihancurkan melainkan hanya bisa berubah dari bentuk energi satu ke bentuk energi yang lain, maka energi dalam sistem sama dengan energi masuk sistem dikurangi energi keluar sistem.

$$E_{sistem} = E_{in} - E_{out}$$

Suatu proses termodinamika akan mengakibatkan perubahan sistem dari tingkat keadaan satu ke tingkat keadaan lain.

$$E_2 - E_1 = Q - W \quad (\text{Moran; 2000:53}) \quad (2-18)$$

$$E_2 - E_1 = \Delta KE + \Delta PE + \Delta U \quad (\text{Moran; 2000:52}) \quad (2-19)$$

Maka kekekalan energi untuk sistem terbuka dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_i \left(u_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i \right) - \dot{m}_e \left(u_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e \right) \quad (\text{Moran; 2000:152}) \quad (2-20)$$

$$\dot{W} = \dot{W}_{cv} + (p_e A_e) V_e - (p_i A_i) V_i \quad (\text{Moran; 2000:153}) \quad (2-21)$$

$$\dot{W} = \dot{W}_{cv} + \dot{m}_e (p_e v_e) - \dot{m}_i (p_i v_i) \quad (\text{Moran; 2000:153}) \quad (2-22)$$

Sehingga rumus kekekalan energi berubah menjadi

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left(u_i + p_i v_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i \right) - \dot{m}_e \left(u_e + p_e v_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e \right) \quad (\text{Moran; 2000:153}) \quad (2-23)$$

Saat fluida mengalir dalam pipa, maka akan terjadi berbagai rugi-rugi. Jika diasumsikan sistem adalah *steady state*, tidak ada kerja masuk atau keluar sistem, maka persamaan energi menjadi :

$$\dot{Q} = \dot{m}(u_2 - u_1) + \dot{m} \left(\frac{p_2}{\rho_2} - \frac{p_1}{\rho_1} \right) + \dot{m} g(z_2 - z_1) + \dot{m} \left(\frac{\bar{V}_2^2}{2} - \frac{\bar{V}_1^2}{2} \right)$$

Dibagi dengan laju aliran masa, maka :

$$\frac{\delta Q}{dm} = u_2 - u_1 + \frac{p_2}{\rho_2} - \frac{p_1}{\rho_1} + g z_2 - g z_1 + \frac{\bar{V}_2^2}{2} - \frac{\bar{V}_1^2}{2}$$

$$\left(\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{\bar{V}_1^2}{2} + g z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\rho_2} + \frac{\bar{V}_2^2}{2} + g z_2 \right) = (u_2 - u_1) - \frac{\delta Q}{dm}$$

Jika dibagi dengan g , maka :

$$\left(\frac{p_1}{\gamma_1} + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma_2} + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + z_2 \right) = h_L \quad (\text{Munson; 1998: 491}) \quad (2-24)$$

Dimana : h_L = head loss total [mkf]

p_1 = tekanan aliran fluida pada titik satu $[N/m^2]$

p_2 = tekanan aliran fluida pada titik dua $[N/m^2]$

γ_1 = berat jenis fluida pada titik satu $[N/m^3]$

γ_2 = berat jenis fluida pada titik dua $[N/m^3]$

z_1 = ketinggian titik satu [m]

z_2 = ketinggian titik dua [m]

$\bar{V}_1$ = Kecepatan rata-rata fluida pada titik satu [m/dt]

$\bar{V}_2$ = Kecepatan rata-rata fluida pada titik dua [m/dt]

Secara umum *Head loss* dapat dibagi menjadi *major losses* dan *minor losses*.

2.10.1 Major Losses

Saat fluida mengalir dalam pipa lurus, maka akan terjadi gesekan antara fluida dengan dinding pipa. Hal ini akan menyebabkan fluida yang mengalir kehilangan tekanan. Kehilangan tekanan pada aliran fluida yang terjadi karena gesekan fluida dengan dinding pipa dinamakan *major losses*.

Untuk aliran laminar *major losses* dapat dicari dengan menggunakan metode analitis seperti dibawah ini;

$$h_l = 32 \frac{L}{D} \frac{\mu \bar{V}}{\rho D} = \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} \left(64 \frac{\mu}{\rho \bar{V} D} \right) = \left(\frac{64}{\text{Re}} \right) \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (\text{Fox; 1994: 331}) \quad (2-25)$$

Sedangkan untuk aliran turbulen perhitungan *major losses* tidak dapat dilakukan secara analitis melainkan dengan metode eksperimen dan didapatkan rumus seperti dibawah ini:

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (\text{Fox; 1994: 332}) \quad (2-26)$$

dimana : f = faktor gesekan

Harga f didapat dari grafik 2 yang dibuat oleh L. F. Moody pada lampiran.

2.10.2 Minor Losses

Minor losses adalah *head loss* yang disebabkan karena bentuk instalasi pipa. Secara umum besarnya *minor losses* dicari dengan rumus :

$$h_{lm} = K \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (\text{Fox; 1994: 336}) \quad (2-27)$$

atau

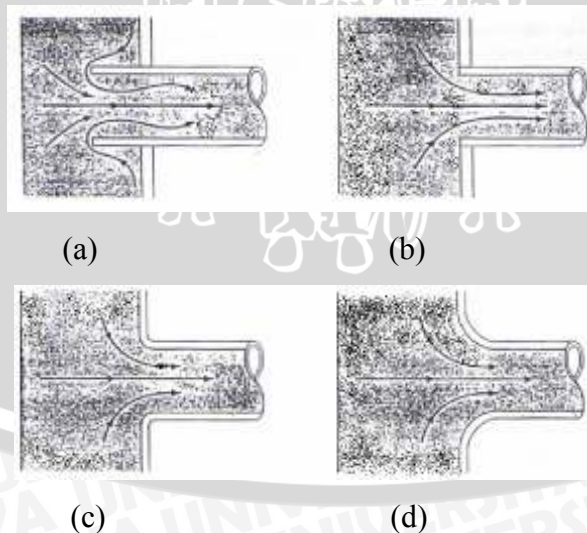
$$h_{lm} = f \frac{L_e}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (\text{Fox; 1994: 336}) \quad (2-28)$$

dimana : K = koefisien rugi

L_e = panjang ekuivalen [m]

2.10.2.1 Entrance Flow

Jika fluida mengalir dari *reservoir* masuk ke sebuah pipa maka akan terjadi penurunan tekanan. Besarnya koefisien rugi dipengaruhi oleh bentuk dari ujung masuk pipa.

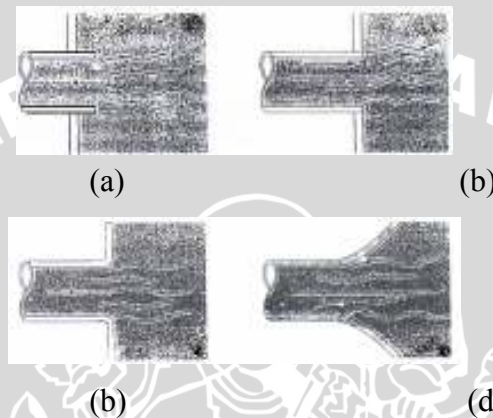


Gambar 2.7 Macam macam bentuk *entrance flow*
Sumber : Munson; 1998: 498

Pada gambar (a) *reentrant*, terdapat ujung pipa yang menonjol. Untuk *entrance flow* dengan bentuk seperti ini mempunyai harga $K = 0,8$. Untuk bentuk seperti gambar (b) *sharp-edged*, $K = 0,5$. Untuk bentuk seperti gambar (c) *slightly rounded*, $K = 0,2$ dan untuk bentuk seperti gambar (d) *well rounded*, $K = 0,04$.

2.10.2.2 Exit Flow

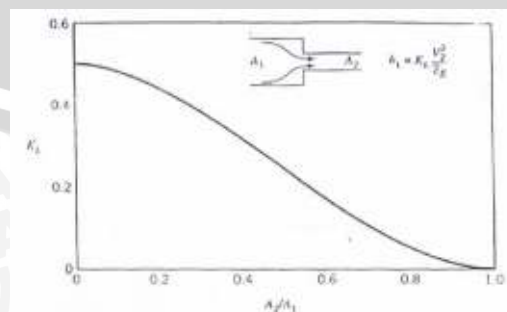
Head loss juga terjadi saat fluida mengalir dari pipa masuk ke dalam tangki seperti pada gambar 2.8. Untuk *head loss* pada *exit flow* harga $K = 1$ untuk semua bentuk sambungan.



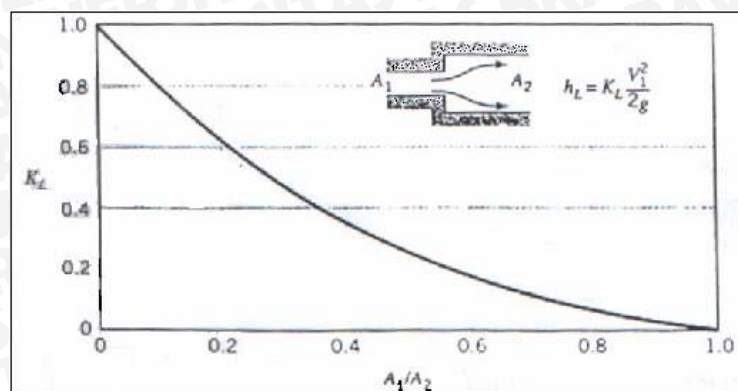
Gambar 2.8 Macam-macam bentuk *exit flow* (a) *reentrant*, (b) *sharp-edged*, (c) *slightly rounded*, (d) *well rounded*
Sumber : Munson; 1998: 499

2.10.2.3 Perubahan Luas Penampang Tiba-Tiba

Perubahan luas penampang tiba-tiba bisa berbentuk penyempitan tiba-tiba (*sudden contraction*) dan pembesaran diameter pipa secara tiba-tiba (*sudden expansion*). Harga K pada perubahan luas penampang tiba-tiba merupakan fungsi perbandingan antara luas penampang pipa pada titik satu dengan luas penampang pipa pada titik dua (A_1/A_2), seperti pada grafik 2.1 dan 2.2.



Grafik 2.1 Koefisien rugi untuk *sudden contraction*
Sumber : Munson; 1998: 500

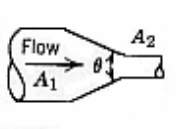


Grafik 2.2 Koefisien rugi untuk *sudden expansion*
Sumber : Munson; 1998: 500

2.10.2.4 Perubahan Penampang Bertahap

Perubahan luas penampang secara bertahap terdiri dari penyempitan luas penampang (nosel) atau perluasan penampang (difuser). Faktor yang mempengaruhi harga K pada bentuk pipa ini adalah perbandingan luas penampang dan sudut perubahan penampang. Harga K untuk nosel dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Harga K untuk nosel

	Sudut penyempitan penampang, θ							
	A_2/A_1	10	15 - 40	50-60	90	120	150	180
	0,50	0,05	0,05	0,06	0,12	0,18	0,24	0,26
	0,25	0,05	0,04	0,07	0,17	0,27	0,35	0,41
	0,10	0,05	0,05	0,08	0,19	0,29	0,37	0,43

Sumber: Fox; 1994: 338

Besarnya *head loss minor* pada difuser dicari dengan rumus,

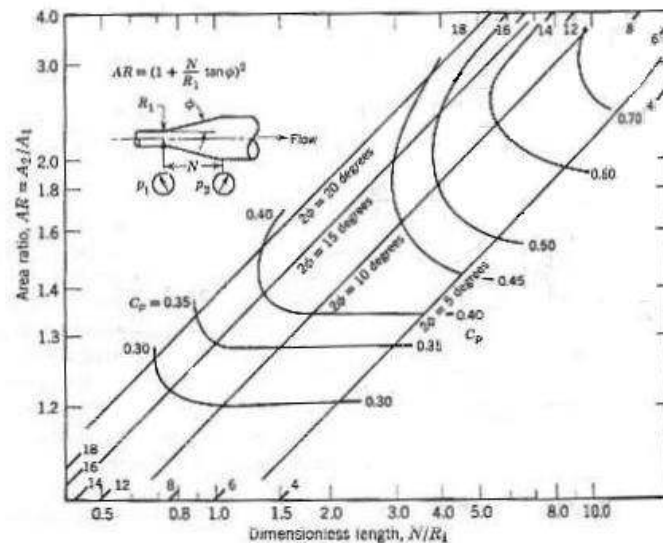
$$h_{lm} = (C_{pi} - C_p) \frac{\bar{V}_1^2}{2g} \quad (\text{Fox;1994: 339}) \quad (2-29)$$

$$C_{pi} = 1 - \frac{1}{(AR)^2} \quad (\text{Fox;1994: 339}) \quad (2-30)$$

dimana : C_p = koefisien pemulihan tekanan

C_{pi} = koefisien pemulihan tekanan ideal

Harga C_p didapatkan dari grafik dibawah ini.



Grafik 2.3 Harga C_p difuser

Sumber: Fox; 1994: 338

2.10.2.5 Katup dan Sambungan

Pencarian tahanan gesek atau rugi-rugi gesekan pada katup dan alat penyambung bisa dilakukan dengan metode :

a. Koefisien tahanan

Tahanan untuk aliran pada katup dan alat penyambung dapat dihitung sebagai berikut:

$$K = \frac{2gh}{V^2} \quad (\text{Raswari; 1986: 421}) (2-31)$$

Dimana : K = Koefisien tahanan katup dan alat penyambung

V = Kecepatan aliran [m/dt]

g = Percepatan gravitasi = 9,81 [m/dt²]

h = head loss [m]

Untuk praktek, harga K diasumsikan konstan terhadap aliran turbulen seperti terdapat pada tabel 11 (lampiran).

b. Koefisien aliran

Pabrik pembuat katup lebih menyukai koefisien aliran, khususnya untuk katup pengontrol dalam menunjukkan kapasitas katup dan karakteristik aliran.

Umumnya pabrik menentukan koefisien aliran katup (C_v) dengan menghitung kerugian dan koefisien aliran sebagai berikut:

$$\Delta p = SG \left(\frac{264,17 Q}{C_v} \right)^2 \quad (\text{Raswari; 1986: 421}) (2-32)$$

Dimana : SG = gravitasi jenis

Q = kuantitas aliran [m^3/mnt]

C_v = koefisien aliran

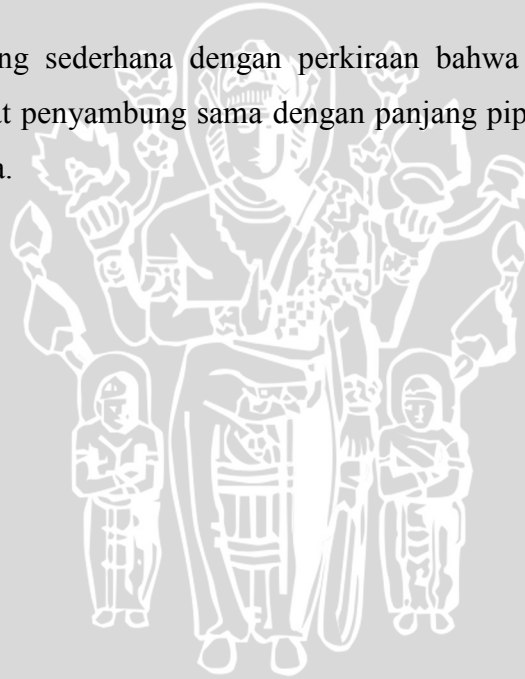
Hubungan antara koefisien aliran dan koefisien tahanan adalah :

$$C_v = \frac{29,9(0,0254 d^2)}{K^{1/2}} \quad (\text{Raswari; 1986: 421}) (2-33)$$

Dimana : d = diameter dalam [m]

c. Panjang ekuivalen

Metode yang paling sederhana dengan perkiraan bahwa kerugian gesekan pada katup dan alat penyambung sama dengan panjang pipa dengan diameter nominal yang sama.



BAB III METODOLOGI

3.1 Metodologi Penelitian

Dalam skripsi ini digunakan metode sebagai berikut :

1. Studi literatur, mempelajari berbagai buku dan referensi mengenai sistem perpipaan, karakteristik uap, perpindahan panas dan mekanika fluida.
2. Pengumpulan data, seluruh data yang digunakan dalam skripsi ini adalah data sekunder yang diperoleh dari pabrik gula Kebon Agung, Malang, meliputi :
 - a. Layout instalasi pipa uap bekas
 - b. Data uap bekas (*exhaust steam*)
 - Temperatur uap bekas.
 - Tekanan uap bekas.
 - c. Data uap baru
 - Temperatur uap baru
 - Tekanan uap baru
 - d. Data dimensi pipa uap bekas
 - Material pipa.
 - Panjang pipa.
 - Diameter pipa.
 - e. Jenis katup dan alat penyambung
 - f. Data isolator
 - Material isolator.
 - Tebal isolator.
 - g. Data lingkungan
 - Temperatur udara sekitar
 - Kecepatan udara sekitar
 - h. Data turbin
 - Daya turbin
 - Efisiensi turbin
 - i. Data *evaporator*
 - Temperatur uap masuk *evaporator*

- Tekanan uap masuk *evaporator*
- Laju massa uap masuk *evaporator*

j. Data masakan

- Temperatur uap masuk masakan
- Tekanan uap masuk masakan
- Laju massa uap masuk masakan

k. Data ketel

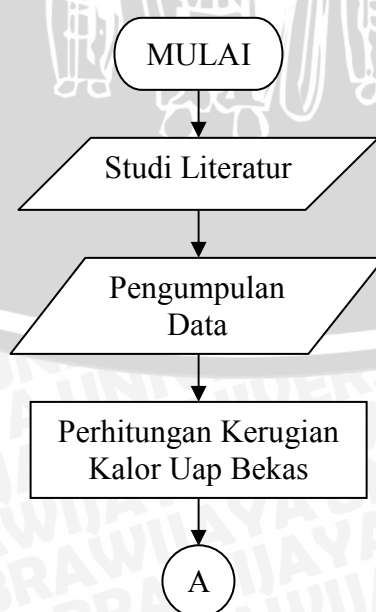
- Bahan bakar ketel
- Efisiensi ketel

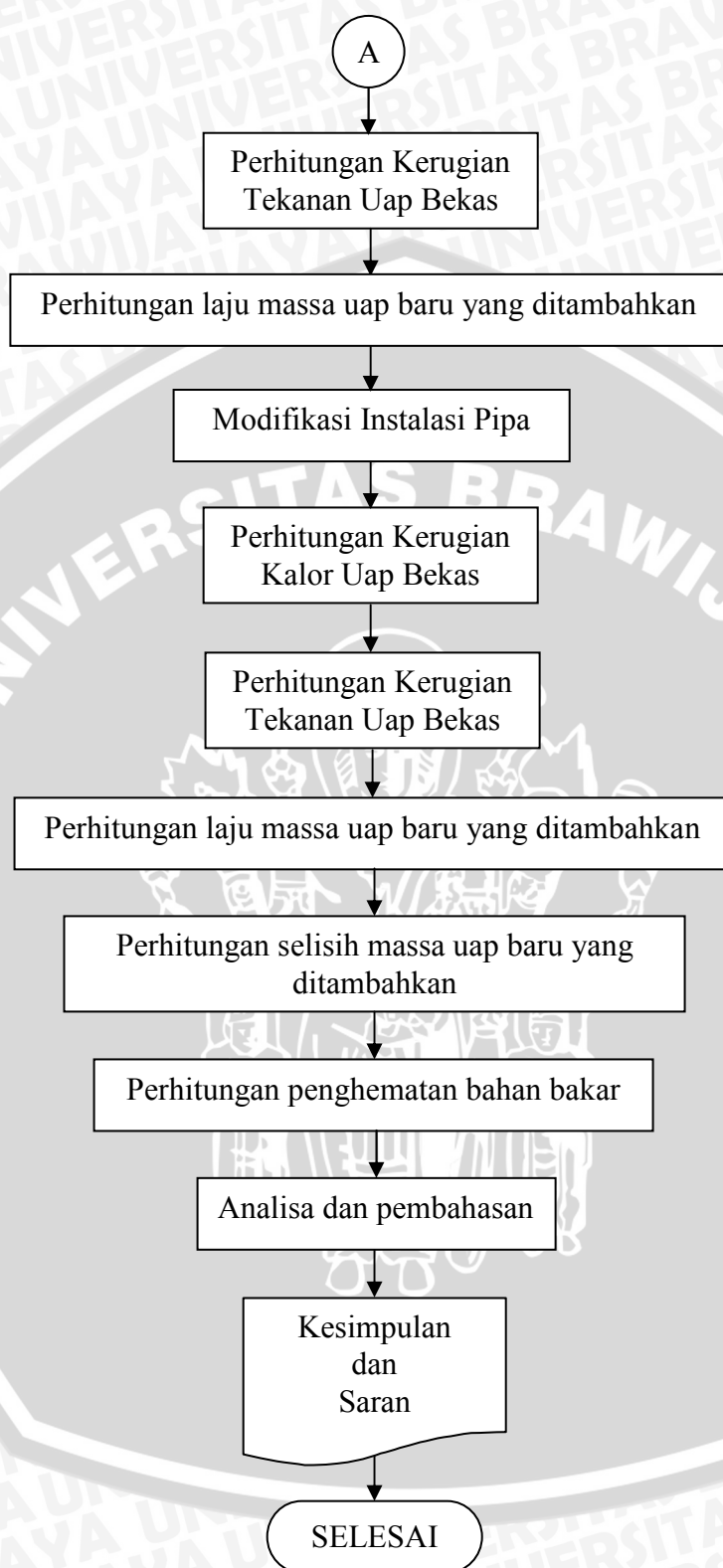
3. Melakukan penelaahan dari berbagai buku dan referensi yang ada dan dari data yang telah terkumpul.
4. Pembahasan mengenai parameter-parameter penting pada perhitungan dalam hubungannya dengan besarnya rugi kalor yang terjadi dan perbaikan instalasi pipa guna menurunkan jumlah pemakaian uap baru.
5. Membuat kesimpulan dari hasil analisa dan penyusunan skripsi.

3.2 Obyek Analisa

Obyek analisa pada skripsi ini adalah terjadinya kerugian tekanan dan kalor yang terkandung dalam uap bekas pada pipa di pabrik gula Kebon Agung, Malang.

3.3 Diagram Alir Pengerjaan





BAB IV PERHITUNGAN

4.1 Konversi dan Laju Massa

Dari data yang diperoleh dari pabrik gula Kebon Agung, maka data tersebut diolah untuk digunakan sebagai bahan analisa permasalahan dan selanjutnya dari hasil analisa tersebut akan dilakukan pembahasan.

▪ Uap baru

$$p = 17 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_{\text{abs}} = 18,0332 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_{\text{abs}} = 18,0332 \times 98066,5 = 1768452,808 \text{ N/m}^2 = 17,68452808 \text{ bar}$$

Dari tabel 1 ($P = 17,68452808 \text{ bar}$; $T = 325 \text{ }^\circ\text{C}$), didapatkan :

$$h = 3087,98 \text{ kJ/kg}$$

▪ Turbin *IDF*

$$p = 1,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_{\text{abs}} = 2,2332 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_{\text{abs}} = 2,2332 \times 98066,5 = 219002,1 \text{ N/m}^2 = 2,190021 \text{ bar}$$

Dari tabel 1.1 ($p = 2,190021 \text{ bar}$; $T = 160 \text{ }^\circ\text{C}$), didapatkan :

$$h = 2775,3 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = \frac{P}{(h_1 - h_2) \eta} = \frac{360 [kW]}{(3087,98 - 2775,3) [kJ/kg] 0,6} = 1,918894717 \text{ kg/dt}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka didapatkan data seperti dibawah ini;

1. Turbin *IDF*

$$\text{▪ } p_{\text{abs}} = 219002,1 \text{ N/m}^2$$

$$\text{▪ } T = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{▪ } \dot{m} = 1,918894717 \text{ kg/dt}$$

2. Turbin *FDF*

$$\text{▪ } p_{\text{abs}} = 219002,1 \text{ N/m}^2$$

$$\text{▪ } T = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{▪ } \dot{m} = 0,8528420963 \text{ kg/dt}$$

3. Turbin *FWP* Yoshimine

- $p_{abs} = 219002,1 \text{ N/m}^2$
- $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 0,6299186145 \text{ kg/dt}$

4. Turbin *FWP* Stork

- $p_{abs} = 219002,1 \text{ N/m}^2$
- $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 0,4409430303 \text{ kg/dt}$

5. Turbin gilingan

a. Turbin gilingan 1

- $p_{abs} = 199388,8 \text{ N/m}^2$
- $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 2,506604618 \text{ kg/dt}$

b. Turbin gilingan 2 Author Paul

- $p_{abs} = 199388,8 \text{ N/m}^2$
- $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 2,506604618 \text{ kg/dt}$

c. Turbin gilingan 3

- $p_{abs} = 199388,8 \text{ N/m}^2$
- $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 2,506604618 \text{ kg/dt}$

d. Turbin gilingan 4

- $p_{abs} = 199388,8 \text{ N/m}^2$
- $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 2,506604618 \text{ kg/dt}$

e. Turbin gilingan 5

- $p_{abs} = 199388,8 \text{ N/m}^2$
- $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 2,506604618 \text{ kg/dt}$

6. Turbin *cane cutter*

- $p_{abs} = 219002,1 \text{ N/m}^2$
- $T = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 5,811598267 \text{ kg/dt}$

7. Turbin *unigrator*

- $p_{abs} = 219002,1 \text{ N/m}^2$
- $T = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 7,74879769 \text{ kg/dt}$

8. Turbin PLTU

a. Turbin PLTU 1

- $p_{abs} = 199388,8 \text{ N/m}^2$
- $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 18,90033643 \text{ kg/dt}$

b. Turbin PLTU 3

- $p_{abs} = 199388,8 \text{ N/m}^2$
- $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 4,200074761 \text{ kg/dt}$

9. *Evaporator*

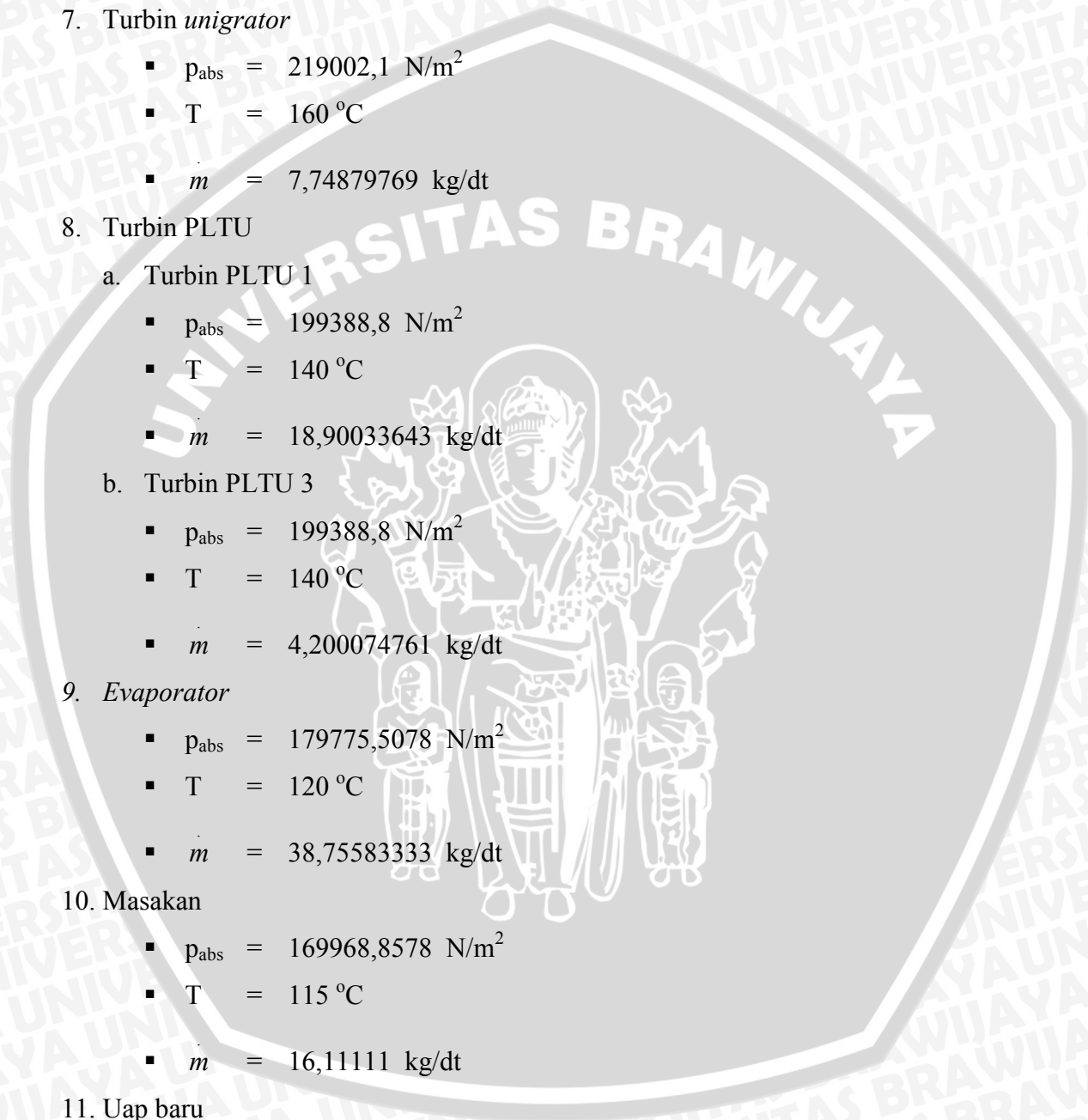
- $p_{abs} = 179775,5078 \text{ N/m}^2$
- $T = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 38,75583333 \text{ kg/dt}$

10. Masakan

- $p_{abs} = 169968,8578 \text{ N/m}^2$
- $T = 115 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 16,11111 \text{ kg/dt}$

11. Uap baru

- $p_{abs} = 1768452,808 \text{ N/m}^2$
- $T = 325 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $m = 1,830516024 \text{ kg/dt}$



12. Isolator

a. Isolator 1

- Material = Rock Woll
- Tebal = 5 cm = 5 x 0,01 = 0,05 m

b. Isolator 2

- Material = Aluminium
- Tebal = 3 mm = 3 x 0,001 = 0,003 m

4.2 Dimensi Pipa

Dari data pipa nomor 1 (NPS = 8") maka dari tabel 5 didapatkan dimensi pipa sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d &= \text{diameter dalam} = 7,981 \times 0,0254 = 0,2027 \text{ m} \\
 t &= \text{tebal pipa} = 0,322 \times 0,0254 = 0,0082 \text{ m} \\
 D &= \text{diameter luar} \\
 &= d + (2 \times t_{\text{pipa}}) + (2 \times t_{\text{RockWoll}}) + (2 \times t_{\text{aluminium}}) \\
 &= 0,2027 + 2 \times 0,0082 + 2 \times 0,05 + 2 \times 0,003 = 0,3251 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.3 Penurunan Tekanan



Gambar 4.1 Pipa nomor 1

▪ Perhitungan Kecepatan Uap

Dari tabel 2 dengan temperatur 160 °C pada tekanan 219002,1 N/m² didapat $\rho_1 = 1,110836 \text{ kg/m}^3$.

$$V_1 = \frac{4 \dot{m}}{\rho_1 \pi d^2} = \frac{(4)(1,918894717) [\text{kg} / \text{dt}]}{(1,110836) [\text{kg} / \text{m}^3] (3,14) (0,2027)^2 [\text{m}^2]} = 53,557963 [\text{m} / \text{dt}]$$

Langkah berikutnya adalah mengasumsikan kecepatan uap di titik 2 (V_2). Karena $p_1 > p_2$, maka $\rho_1 > \rho_2$. Sehingga dengan laju masa uap dan luas penampang pipa yang sama didapatkan $V_1 < V_2$.

Asumsi $V_2 = 53,568 \text{ m/dt}$, maka :

$$\bar{V}_{uap} = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{53,557963 + 53,568}{2} = 53,563 \text{ [m / dt]}$$

$$\rho_2 = \frac{4 \dot{m}}{\pi d^2 V_2} = \frac{(4) (1,918894717) [kg / dt]}{(3,14) (0,2027)^2 [m^2] (53,568) [m / dt]} = 1,110628 \text{ [kg / m}^3\text{]}$$

$$\bar{\rho}_{uap} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} = \frac{1,110836 + 1,110628}{2} = 1,110732 \text{ [kg / m}^3\text{]}$$

▪ **Perhitungan Head Loss**

Untuk pipa *cast iron* dengan diameter dalam 0,2027 m, dari grafik kekasaran relatif didapatkan harga kekasaran relatif, $e/D = 0,0001$.

Dari tabel 2 untuk uap panas lanjut dengan temperatur 160 °C pada tekanan 219002,1 N/m², didapatkan *properties* uap :

$$\mu = \text{viskositas dinamik} = 1,45781 \times 10^{-5} \text{ [N.dt/m}^2\text{]}$$

$$k = \text{konduktifitas termal} = 0,030256 \text{ [W/m.K]}$$

$$Pr = \text{Prandl Number} = 0,99184$$

$$Re_{uap} = \frac{\rho_1 V_1 d}{\mu} = \frac{(1,110836) [kg / m^3] (53,557963) [m / dt] (0,2027) [m]}{1,457785 \times 10^{-5} [N.dt / m^2]} = 827245$$

Dari grafik *Moody*, dengan $Re = 827245$ dan $e/D = 0,0001$, didapatkan harga koefisien gesekan, $f = 0,016$.

Head loss yang terjadi pada pipa :

$$\begin{aligned} h_l &= f \frac{L}{d} \frac{\bar{V}_{uap}^2}{2g} \\ &= 0,016 \left(\frac{0,25 \text{ m}}{0,2027 \text{ m}} \right) \left(\frac{(53,563)^2 [m^2 / dt^2]}{2 (9,81) [m / dt^2]} \right) = 2,885604 \text{ mku} \end{aligned}$$

▪ **Perhitungan Tekanan di Titik 2**

Tekanan pada titik 2 :

$$p_2 = \left\{ \frac{p_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 - \frac{V_2^2}{2g} - z_2 - h_l \right\} \rho_2 g$$

$$p_2 = \left\{ \frac{(219002,1)[N/m^2]}{(1,110836)[kg/m^3] (9,81)[m/dt^2]} + \frac{(53,557963)^2 [m^2/dt^2]}{(2) (9,81)[m/dt^2]} + 1[m] - \frac{(53,568)^2 [m^2/dt^2]}{(2) (9,81)[m/dt^2]} - 1[m] - 2,885604[m] \right\} (1,110628)[kg/m^3] (9,81)[m/dt^2]$$

$$p_2 = 218929 [N/m^2]$$

4.4 Heat Losses (Rugi Panas)

Dari tabel 2 uap panas lanjut, uap dengan masa jenis 1,110628 [kg/m³] pada tekanan 218929 [N/m²] didapatkan T₂ tabel = 159,998°C.

Jadi ;

$$\bar{T}_{uap} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{160 + 159,998}{2} = 159,999 \text{ } ^\circ C$$

$$\bar{p}_{uap} = \frac{p_1 + p_2}{2} = \frac{219002,1 + 218929}{2} = 218965,55 [N/m^2]$$

▪ Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Uap

Dari tabel 2 uap panas lanjut, uap dengan temperatur 159,9975 °C pada tekanan 199214,7 [N/m²] didapatkan :

$$\bar{\mu} = 1,45773 \times 10^{-5} [N \cdot dt/m^2]$$

$$\bar{k} = 0,0302543 [W/m \cdot K]$$

$$\bar{Pr} = 0,99186$$

$$\bar{Re}_{uap} = \frac{\bar{\rho}_{uap} \bar{V}_{uap} d}{\bar{\mu}_{uap}} = \frac{(1,110732)[kg/m^3] (53,563)[m/dt^2] (0,2027)[m]}{1,45773 \times 10^{-5} [N \cdot dt/m^2]}$$

$$= 827276,7794$$

$$\bar{Nu}_{uap} = 0,125 f \bar{Re}_{uap} \bar{Pr}^{1/3} = (0,125)(0,016)(827276,7794)(0,99186)^{1/3}$$

$$= 1649,954$$

$$\bar{h}_{uap} = \frac{\overline{Nu}_{uap} k}{d} = \frac{(1649,954) (0,0302543) [W / m.K]}{0,0207 m} = 246,276 [W / m^2 .K]$$

▪ Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Udara

Dari tabel 3 udara dengan temperatur 33 °C pada tekanan 1 atm, didapatkan :

$$\rho = 1,141432 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\mu = 1,87432 \times 10^{-5} \text{ [N.dt/m}^2\text{]}$$

$$k = 0,026744 \text{ [W/m.K]}$$

$$Pr = 0,70616$$

$$Re_{udara} = \frac{\rho_{udara} V_{udara} D}{\mu} = \frac{(1,141432) [kg / m^3] (2) [m / dt] (0,3251) [m]}{1,87432 [N.dt / m^2]} = 39596,178$$

Dari tabel 2.1 didapatkan harga $C = 0,193$ dan $m = 0,618$.

$$Nu_{udara} = C Re_{udara}^m Pr^{1/3}$$

$$= (0,193) (39596,178)^{0,618} (0,70616)^{1/3} = 119,287$$

$$h_{udara} = \frac{Nu_{udara} k}{D} = \frac{(119,287) (0,026744) [W / m.K]}{0,3251 [m]} = 9,813 [W / m^2 .K]$$

▪ Tahanan Termal

Pada sistem ini terdapat 5 tahanan termal yaitu tahanan termal konveksi uap, tahanan termal konduksi pipa, tahanan termal konduksi *rock woll*, tahanan termal konduksi aluminium, dan tahanan termal konveksi udara.

1. Tahanan termal konveksi uap

$$R_{uap} = \frac{1}{\pi d L h_{uap}} = \frac{1}{(3,14) (0,0207) [m] (0,25) [m] (246,276) [W / m^2 .^{\circ}C]} \\ = 0,025518 [^{\circ}C / W]$$

2. Tahanan termal konduksi pipa

$$R_{\text{pipa}} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 \pi L k_{\text{pipa}}} = \frac{\ln(0,10955/0,10135)}{(2) (3,14) (0,25)[m] (51)[W / m.^{\circ} C]}$$

$$= 0,000972 [^{\circ} C / W]$$

3. Tahanan termal konduksi *rock woll*

$$R_{\text{rockwoll}} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2 \pi L k_{\text{rock woll}}} = \frac{\ln(0,15955/0,10955)}{(2) (3,14) (0,25)[m] (0,045)[W / m.^{\circ} C]}$$

$$= 5,322 [^{\circ} C / W]$$

4. Tahanan termal konduksi aluminium

$$R_{\text{aluminium}} = \frac{\ln(r_4/r_3)}{2 \pi L k_{\text{aluminium}}} = \frac{\ln(0,16255/0,15955)}{(2) (3,14) (0,25)[m] (200)[W / m.^{\circ} C]}$$

$$= 0,000059 [^{\circ} C / W]$$

5. Tahanan termal konveksi udara

$$R_{\text{uap}} = \frac{1}{\pi d L h_{\text{udara}}} = \frac{1}{(3,14) (0,3251)[m] (0,25)[m] (9,813)[W / m^2.^{\circ} C]}$$

$$= 0,3993 [^{\circ} C / W]$$

$$\text{Tahanan termal total} = 0,025518 + 0,000972 + 5,322 + 0,000059 + 0,3993$$

$$= 5,747849 [^{\circ} C / W]$$

▪ **Perpindahan Panas Dari Uap ke Lingkungan**

Panas yang hilang pada sistem perpipaan adalah panas yang dibuang ke lingkungan.

$$q_{\text{loss}} = \frac{T_{\text{uap}} - T_{\text{udara}}}{R_{\text{total}}} = \frac{159,999 - 33 [^{\circ} C]}{5,747849 [^{\circ} C / W]} = 22,095 [W]$$

4.5 Temperatur Uap di Titik 2

Untuk mencari temperatur uap di titik 2 digunakan persamaan kesetimbangan energi yang masuk dan keluar sistem. Dari tabel 2 uap panas lanjut didapatkan, $c_{p1} = 2059,84 \text{ [J/kg.}^\circ\text{C]}$ dan $c_{p2} = 2059,69 \text{ [J/kg.}^\circ\text{C]}$ Sehingga :

$$\begin{aligned} T_{2,\text{hitung}} &= \frac{\left(\dot{m} c_{p1} T_1 \right) - q_{\text{konv}}}{\dot{m} c_{p2}} \\ &= \frac{\left((1,918894717) [\text{kg/m}^3] (2059,84) [\text{J/kg.}^\circ\text{C}] (160) [^\circ\text{C}] \right) - 22,095 [\text{W}]}{(1,918894717) [\text{kg/m}^3] (2059,78) [\text{J/kg.}^\circ\text{C}]} \\ &= 159,999 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

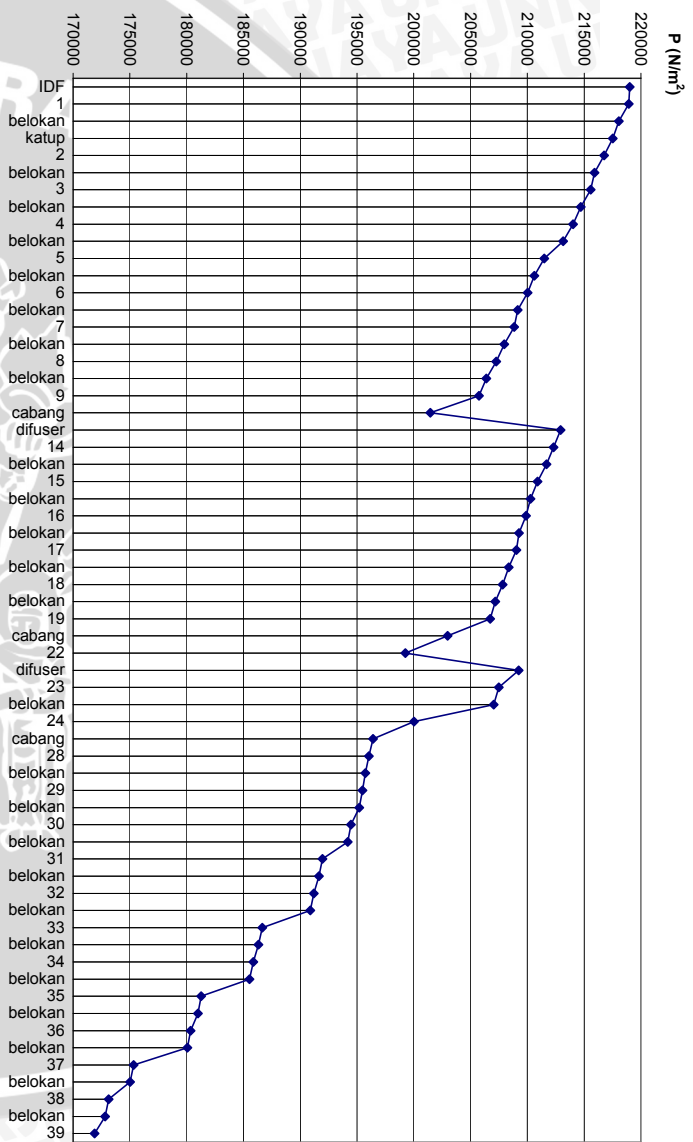
Karena $T_{2 \text{ tabel}}$ tidak sama dengan $T_{2 \text{ hitung}}$ maka dilakukan penghitungan ulang dengan mengubah asumsi V_2 , sehingga didapatkan $T_{2 \text{ tabel}} = T_{2 \text{ hitung}}$.

Dengan metode iterasi maka untuk pipa nomer 1 didapatkan hasil penghitungan seperti di bawah ini :

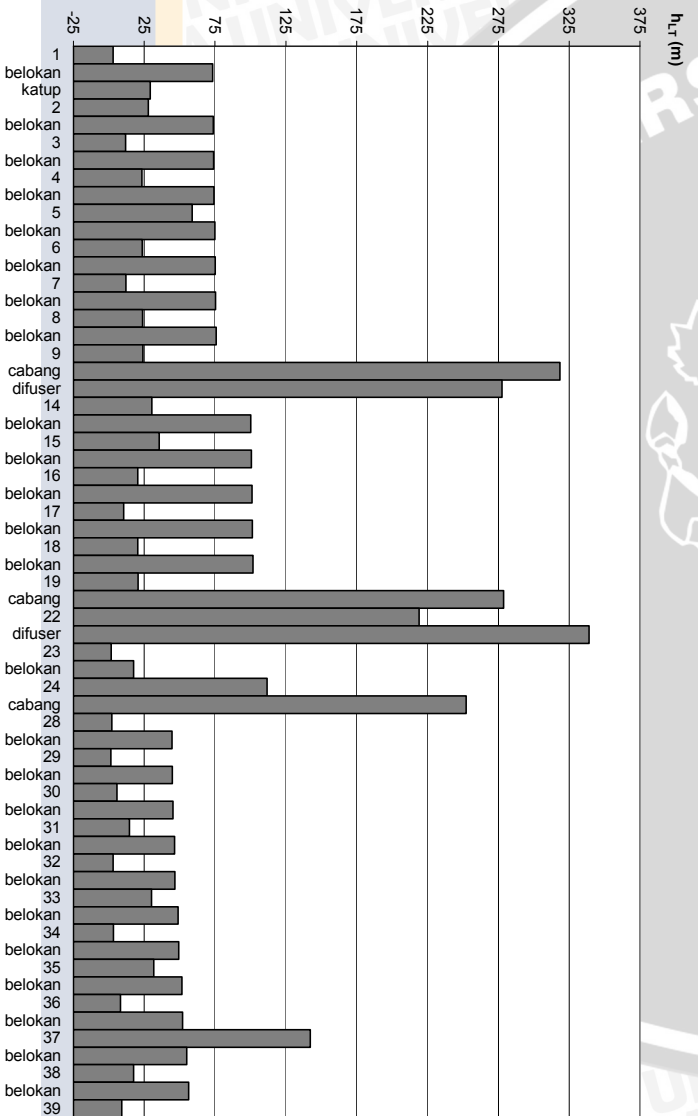
- $V_2 = 53,571 \text{ [m/dt]}$
- $p_2 = 218916,59 \text{ [N/m}^2\text{]}$
- $q_{\text{konv}} = 22,09617 \text{ [W]}$
- $T_2 = 159,997 \text{ [}^\circ\text{C]}$

Untuk hasil perhitungan secara lengkap disajikan dalam tabel pada lampiran.

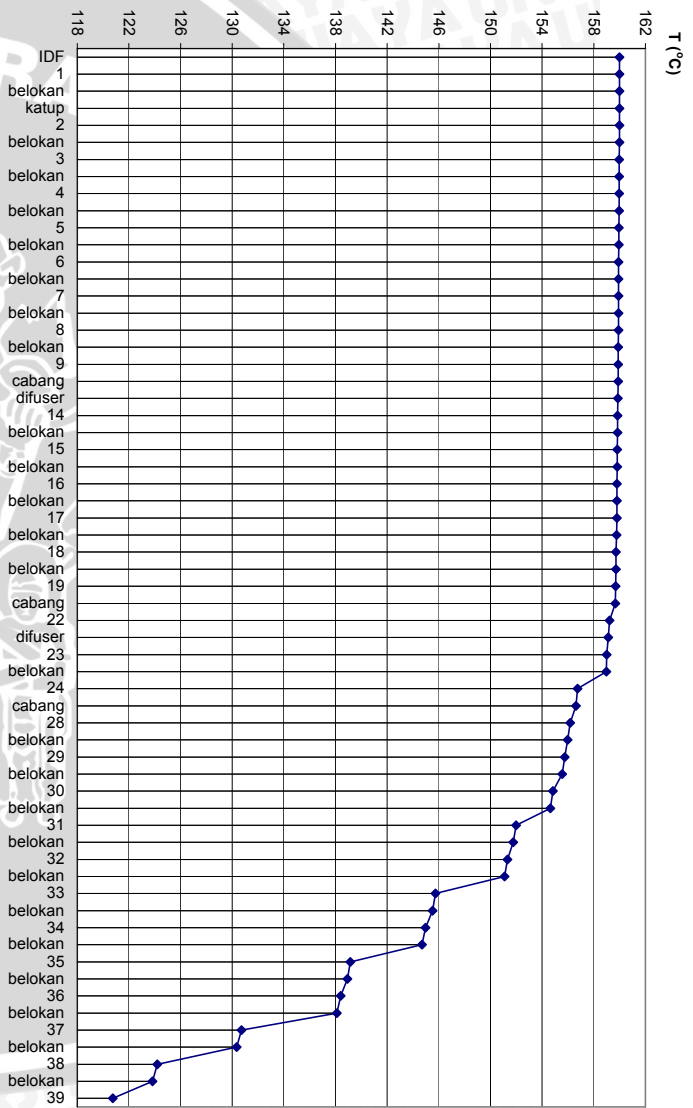
Hasil dari perhitungan di atas dapat disajikan dalam berbagai grafik. Di bawah ini adalah grafik saluran turbin *IDF* dan grafik secara lengkap terdapat pada bagian lampiran dari skripsi ini



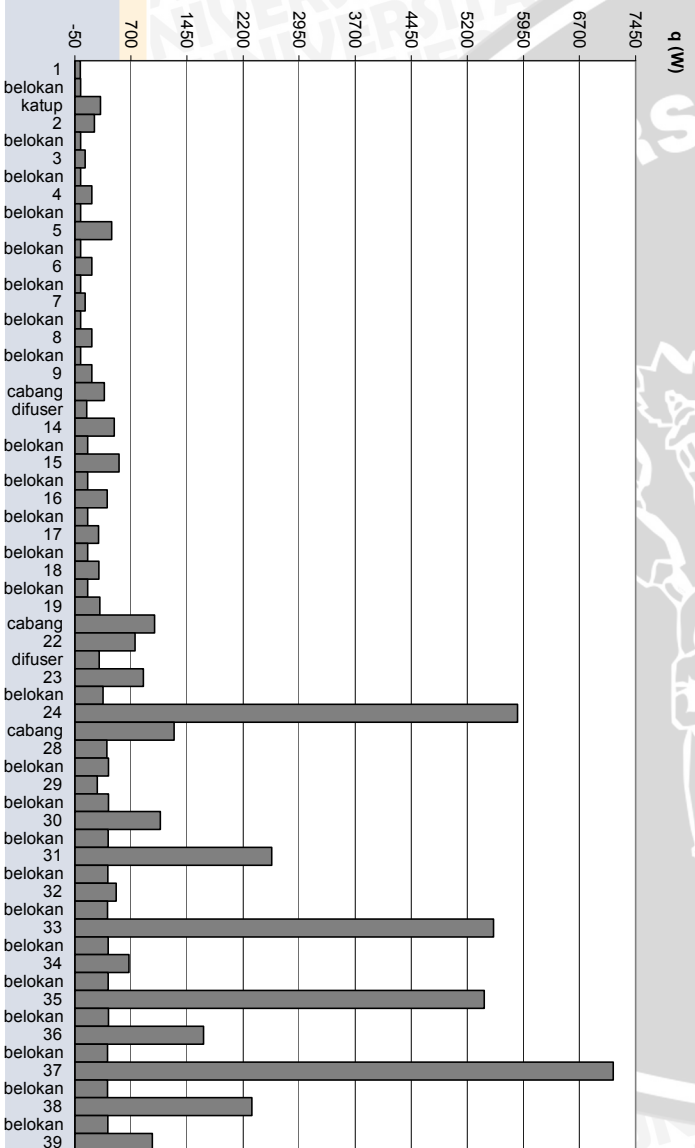
Grafik 4.1 Distribusi p saluran turbin IDF



Grafik 4.2 Head loss saluran turbin IDF



Grafik 4.3 Distribusi T saluran turbin IDF



Grafik 4.4 q loss saluran turbin IDF

4.6 Laju Massa Uap Baru Yang Ditambahkan

Untuk menghitung laju massa uap baru yang ditambahkan digunakan persamaan dan kesetimbangan laju massa pada *steam header*.

$$m_{in} = m_{out}$$

$$m_{in} = m_{IDF} + m_{canecutter} + m_{gilingan} + m_{PLTU} + m_{uap\ baru}$$

$$m_{out} = m_{evaporator} + m_{masakan}$$

$$m_{uap\ baru} = m_{evaporator} + m_{masakan} - m_{IDF} - m_{canecutter} - m_{gilingan} - m_{PLTU}$$

$$m_{uap\ baru} = 38,75583 + 16,11111 - 3,842598 - 13,5604 - 12,53302 - 23,10041$$

$$m_{uap\ baru} = 1,830516 \text{ [kg/dt]}$$

4.7 Modifikasi

Pada skripsi ini, modifikasi yang dilakukan oleh penulis adalah:

1. Penambahan ketebalan isolator *rock woll* sebesar 1 cm, sehingga ketebalan isolator *rock woll* menjadi 6 cm.
2. Penambahan ketebalan isolator aluminium sebesar 2 mm, sehingga ketebalan isolator aluminium menjadi 5 mm.
3. Pengurangan belokan ekspansi, yaitu penghilangan beberapa pipa (pipa nomor 6,8,16,18,34 dan 103).

Dengan cara yang sama dilakukan penghitungan penurunan tekanan dan temperatur pada pipa. Dari perhitungan, didapatkan hasil

Tabel 4.1 Rangkuman hasil perhitungan

Saluran	p (N/m ²)	h _l (mku)	T (°C)	q _{loss} (kW)	q _{loss} total (kW)	h _l total (mku)
ketel	171898	4397,145	120,747	219,415		
canecutter	189491,8	7426,742	128,364	714,33		
gilingan	160540,7	9987,779	116,437	564,038		
PLTU	169533,6	5691,369	117,874	992,888		
evaporator	179775,5	4656,591	120	448,837		
masakan	169968,9	3396,243	115	337,546		
					3277,054	35555,869

Tabel 4.2 Rangkuman hasil perhitungan modifikasi

Saluran	p (N/m ²)	h _L (mku)	T (°C)	q _{loss} (kW)	q _{loss} total (kW)	h _L total (mku)
ketel	172107,516	4127,702	128,661	175,307		
canecutter	185826,414	7699,629	134,334	594,647		
gilingan	159898,336	10457,16	118,896	503,451		
PLTU	169524,538	5427,826	119,904	901,752		
evaporator		4656,591		448,837		
masakan		3396,243		337,546		
					2951,541	35765,15

Untuk instalasi yang telah dimodifikasi, hasil perhitungan secara lengkap disajikan dalam tabel pada lampiran.

4.8 Diameter Kritis

Diameter kritis adalah diameter pipa yang memiliki hambatan termal minimum.

$$D_{\text{kritis}} = 2 \frac{k}{h}$$

Untuk pipa NPS 8, $D_{\text{pipa}} = 0,3491 \text{ m}$

$$D_{\text{kritis}} = \frac{2 \times 0,045 [W/m.K]}{9,8025 [W/m^2.K]} = 0,0092 \text{ m}$$

Untuk pipa NPS 30, $D_{\text{pipa}} = 0,8921 \text{ m}$

$$D_{\text{kritis}} = \frac{2 \times 0,045 [W/m.K]}{8,1636 [W/m^2.K]} = 0,011 \text{ m}$$

Karena diameter pipa lebih besar dari diameter kritis, maka penambahan ketebalan isolator masih sesuai dengan tujuan yaitu mengurangi laju kalor yang hilang ke lingkungan.

4.9 Selisih Laju Massa Uap Baru Yang Ditambahkan

Untuk menghitung laju massa uap baru yang ditambahkan pada instalasi pipa yang telah dimodifikasi digunakan persamaan kesetimbangan laju kalor yang masuk *steam header* sebelum dan sesudah modifikasi. Dari tabel 1 didapatkan entalpi pada masing-masing saluran masuk *steam header* seperti tabel di bawah ini.

Tabel 4.3 Saluran masuk *steam header*

SALURAN	p (N/m ²)	T (°C)	entalpi (kJ/kg)	m (kg/dt)
sebelum modifikasi				
turbin instalasi ketel	171898	120,747	2710,536	3,842598
turbin <i>cane cutter</i>	189491,8	128,364	2714,382	13,5604
turbin gilingan	160540,7	116,437	2702,846	12,53302
turbin PLTU	169533,6	117,874	2704,869	23,10041
uap baru	1768453	325	3087,98	1,830516
sesudah modifikasi				
turbin instalasi ketel	172107,5	128,661	2722,014	3,842598
turbin <i>cane cutter</i>	185826,4	134,334	2726,306	13,5604
turbin gilingan	159898,3	118,896	2706,084	12,53302
turbin PLTU	169524,5	119,904	2708,294	23,10041
uap baru	1768453	325	3087,98	

$$q = m \times h$$

$$q_{\text{sebelum modifikasi}} = q_{\text{sesudah modifikasi}}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{sebelum modifikasi}} &= (3,842598 \times 2710,536) + (13,5604 \times 2714,382) + (12,53302 \times 2702,846) + \\ &\quad (23,10041 \times 2704,869) + (1,830516 \times 3086,323) \\ &= 149234,6 \text{ [kW]} \end{aligned}$$

Sehingga $q_{\text{uap baru}}$ masuk *steam header* setelah modifikasi adalah:

$$\begin{aligned} q_{\text{uap baru}} &= 149234,6 - (3,842598 \times 2722,014) - (13,5604 \times 2726,306) - \\ &\quad (12,53302 \times 2706,084) - (23,10041 \times 2708,294) \\ &= 5327,08 \text{ [kW]} \end{aligned}$$

$$m_{\text{uap baru}} = \frac{q_{\text{uap baru}}}{h_{\text{uap baru}}} = \frac{5327,08 \text{ [kW]}}{3087,98 \text{ [kJ/kg]}} = 1,725103 \text{ [kg/dt]}$$

Selisih laju massa uap baru yang ditambahkan adalah:

$$\Delta m_{\text{uap baru}} = 1,830516 - 1,725103 = 0,105413 \text{ [kg/dt]}$$

4.10 Penghematan Bahan Bakar

Dari modifikasi didapatkan hasil pengurangan penambahan laju massa uap baru sebesar 0,105413 kg/dt. Dari pengurangan laju masa uap baru ini dapat dicari massa bahan bakar yang dihemat, seperti berikut:

Asumsi air masuk ketel pada temperatur 20 °C, cair jenuh, maka dari tabel didapatkan $h_{air} = 83,2$ [kJ/kg].

Minyak Bakar

$$SG = 0,99$$

$$LHV = 18000 \text{ [BTU/lb]} = 41.871,35 \text{ [kJ/kg]}$$

m_{bb} yang dikurangi

$$\begin{aligned} m_{bb} &= \frac{m_{uap \text{ baru}} (h_{uap \text{ baru}} - h_{air})}{LHV \cdot \eta_{ketel}} \\ &= \frac{0,105413 \text{ [kg/dt]} (3087,98 - 83,2) \text{ [kJ/kg]}}{41.871,35 \text{ [kJ/kg]} \cdot 0,7} \\ &= 0,0108 \text{ [kg/dt]} \end{aligned}$$

Q bahan bakar yang dihemat

$$\begin{aligned} Q_{\text{bahan bakar}} &= m_{bb} \times LHV_{bb} \\ &= 0,0108 \text{ [kg/dt]} \times 41871,35 \text{ [kJ/kg]} \\ &= 452,211 \text{ [kJ/dt]} \\ &= 1627959,6 \text{ [kJ/jam]} \\ &= 388812,897 \text{ [kcal/jam]} \end{aligned}$$

BAB V PEMBAHASAN

5.1 *Head Losses*

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan bahwa *head loss* total yang terjadi adalah sebesar 35555,869 mku. *Head loss minor* lebih besar dari *head loss mayor* karena pada *head loss minor* terjadi pemisahan aliran uap karena terdapat perubahan penampang. Aliran yang terpisah ini akan menimbulkan pusaran aliran uap (*vortex*). Pusaran aliran ini menyebabkan adanya tekanan balik (*back pressure*). Tekanan balik inilah yang menyebabkan *head loss minor* menjadi besar.

Pada difuser terjadi *head loss* yang tinggi tapi tekanan juga naik. Hal ini terjadi karena bentuk difuser yang diemeterinya membesar. Pada difuser *head* kecepatan akan diubah menjadi *head* tekanan sehingga tekanan akan naik. Tapi karena bentuk difuser yang menyebabkan terjadinya tekanan balik pada aliran uap maka terjadi *head loss* yang cukup tinggi.

Untuk mengurangi kerugian tekanan pada aliran uap, dapat dilakukan dengan cara meninjau kembali konstruksi instalasi pipa. Misalnya dengan penyederhanaan instalasi pipa dengan mengurangi belokan ekspansi yang tidak perlu, pengurangan panjang pipa, pembesaran diameter pipa dan pemilihan pipa yang lebih halus.

Semakin besar diameter pipa maka semakin kecil *head loss* yang terjadi karena dengan laju masa yang sama, maka diameter pipa yang lebih besar akan memiliki kecepatan uap yang lebih kecil. dan yang paling berpengaruh terhadap besarnya *head loss* adalah kecepatan uap. Namun dengan diameter yang lebih besar, maka luas permukaan untuk perpindahan panas akan semakin besar sehingga panas yang hilang keluar lingkungan juga semakin besar. Oleh karena itu penambahan diameter pipa dengan tujuan pengurangan penurunan tekanan harus diikuti dengan pemakaian isolator yang baik.

Dengan pemilihan pipa yang lebih halus diharapkan *head loss mayor* yang terjadi akan lebih kecil. Dengan dinding pipa yang lebih halus, maka tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa akibat aliran uap akan menjadi lebih kecil sehingga *head loss mayor* yang terjadi menjadi lebih kecil.

5.2 Heat Losses

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan bahwa *heat loss* total yang terjadi adalah sebesar 3277,054 kW. Makin besar kecepatan uap, maka makin besar *heat loss*. Hal ini dikarenakan makin besar kecepatan uap akan menyebabkan kenaikan harga *Reynold Number*. Makin besar harga *Reynold Number* akan menaikkan *Nusselt Number*. Dengan naiknya *Nusselt Number* maka koefisien perpindahan panas konveksi juga naik. Karena koefisien perpindahan panas konveksi naik maka panas yang keluar dari pipa juga akan naik.

Harga koefisien perpindahan panas konveksi dicari untuk tiap-tiap kondisi pipa yang besarnya tergantung dari temperatur dan tekanan rata-rata uap untuk tiap-tiap pipa. Perubahan tekanan akan mengubah kecepatan aliran uap dan *properties* uap (viskositas dinamik, konduktifitas termal dan *Prandtl Number*). Perubahan viskositas dinamik akan mempengaruhi besarnya *Reynold Number*, sedangkan konduktifitas termal dan *Prandtl Number* akan mempengaruhi *Nusselt Number*. Perubahan pada *Nusselt Number* akan mengubah besarnya koefisien perpindahan panas konveksi dan akhirnya akan mempengaruhi besarnya perpindahan panas yang terjadi. Dalam analisa ini ditentukan harga koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata untuk tiap nomer pipa karena harga koefisien perpindahan panas konveksi sepanjang pipa berubah seiring dengan berubahnya tekanan dan temperatur.

Salah satu cara untuk mengurangi besarnya laju kalor yang hilang ke lingkungan dapat dilakukan dengan pemilihan bahan pipa dan isolator yang mempunyai harga konduktifitas termal yang rendah, karena koefisien perpindahan panas konduksi yang rendah akan memperbesar hambatan termal. Dengan semakin besar hambatan termal yang ada, maka perpindahan panas yang terjadi, dalam hal ini panas yang hilang ke lingkungan, akan semakin kecil. Selain itu, pengurangan laju kalor yang hilang juga dapat dilakukan dengan penambahan ketebalan isolator karena semakin tebal isolator maka semakin besar hambatan termal yang ada, sehingga laju kalor yang hilang menjadi lebih kecil.

Cara lain untuk mengurangi *heat loss* adalah dengan mengurangi panjang pipa. Dengan pengurangan panjang pipa, maka luas permukaan perpindahan panas akan semakin kecil. Semakin kecil luas permukaan perpindahan panas, maka laju

perpindahan panas yang terjadi juga semakin kecil. Namun, dalam pengurangan panjang pipa harus diperhatikan juga tentang keamanan konstruksi pipa. Hal ini dikarenakan adanya sifat pipa yang akan memuai dan menyusut jika dalam kondisi panas atau dingin. Jadi kita juga harus memperhatikan fleksibilitas pipa.

5.3 Modifikasi

Pada modifikasi instalasi pipa terdapat pemotongan/penghilangan beberapa pipa (pipa nomor 6, 8, 16, 18, 34 dan 103). Penghilangan beberapa pipa ini dilakukan dengan pertimbangan tidak akan merubah letak instalasi yang berhubungan (turbin *IDF*, turbin *FDF*, turbin *FWP*, turbin *Yoshimine*, turbin *FWP*, turbin *Stork*, turbin PLTU dan *steam header*). Sehingga dengan adanya modifikasi letak instalasi tidak mengalami perubahan.

Setelah dilakukan modifikasi instalasi pipa terjadi penurunan *heat loss* karena penambahan ketebalan isolator. Sehingga temperatur uap menjadi lebih tinggi dibandingkan instalasi pipa sebelum modifikasi. Hasil dari modifikasi terlihat pada tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Saluran menuju *steam header*

Saluran	p (N/m ²)	h _L (mku)	T (°C)	q _{loss} (kW)	Δp (%)	Δ h _L (%)	ΔT (%)	Δq _{loss} (%)
sebelum modifikasi								
Turbin instalasi ketel	171898	4397,145	120,747	219,415				
Turbin <i>cane cutter</i>	189491,8	7426,742	128,364	714,33				
Turbin gilingan	160540,7	9987,779	116,437	564,038				
Turbin PLTU	169533,6	5691,369	117,874	992,888				
Total		27503,035		2490,671				
sesudah modifikasi								
Turbin instalasi ketel	172107,5	4127,702	128,661	175,307	0,12	6,13	6,55	20,1
Turbin <i>cane cutter</i>	185826,4	7699,629	134,334	594,647	1,93	3,67	4,65	16,75
Turbin gilingan	159898,3	10457,16	118,896	503,451	0,4	4,7	2,11	10,74
Turbin PLTU	169524,5	5427,826	119,904	901,752	0,0054	4,63	1,72	9,18
Total		27712,317		2165,157		0,76		13,07

Dari tabel di atas terlihat bahwa dengan penambahan ketebalan isolator maka temperatur uap masuk *steam header* akan lebih tinggi. Sedangkan tekanan uap masuk *steam header* cenderung lebih rendah. Hal ini dikarenakan sifat uap yang masa jenisnya akan turun seiring dengan naiknya temperatur uap. Penurunan masa jenis uap, dengan laju masa yang sama, akan menaikkan kecepatan aliran uap sehingga *head loss* akan semakin besar. Dengan semakin

besarnya *head loss* maka tekanan akan mengalami penurunan. Namun seperti ditunjukkan oleh tabel di atas, prosentase penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi lebih kecil dibandingkan prosentase penurunan panas yang hilang (*heat loss*).

Dari perubahan kondisi uap masuk *steam header* akibat modifikasi instalasi pipa, didapatkan penambahan laju masa uap baru berkurang sebesar 5,76 % (0,105413 kg/dt). Karena terdapat pengurangan laju masa uap baru yang ditambahkan, maka kebutuhan bahan bakar untuk menghasilkan uap juga berkurang. Pabrik gula Kebon Agung menggunakan dua macam bahan bakar yaitu ampas tebu dan minyak bakar. Karena ampas tebu merupakan produk samping dari proses produksi gula, maka bahan bakar yang harus dikurangi adalah minyak bakar. Dari pengurangan laju masa uap baru sebesar di atas, laju kalor minyak bakar yang dapat dihemat adalah sebesar 388812,897 [kcal/jam].



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan pada skripsi ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tekanan uap semakin turun dengan semakin panjang instalasi pipa. Hal ini dikarenakan dengan semakin panjang instalasi pipa maka semakin besar *head loss* yang terjadi. Tekanan uap akan naik jika uap melewati difuser tapi energi kecepatan uap akan turun. *Head loss* yang terjadi pada saluran pipa sebelum masuk *steam header* adalah sebesar 27503,035 mku. Sedangkan *head loss* pada saluran pipa keluar *steam header* adalah sebesar 8052,834 mku.
2. Temperatur uap semakin turun dengan semakin panjang instalasi pipa. Hal ini dikarenakan dengan semakin panjang instalasi pipa maka semakin besar *heat loss* yang terjadi. *Heat loss* akan lebih besar pada pipa dengan diameter yang lebih besar karena permukaan pipa menjadi lebih besar. *Heat loss* yang terjadi pada saluran pipa sebelum masuk *steam header* adalah sebesar 2490,67 kW dan saluran pipa keluar *steam header* sebesar 786,38 kW.
3. a. Dari *losses* sebesar 3277,05 kW diperlukan penambahan uap baru sebesar 1,830516 [kg/dt]. Setelah dilakukan beberapa modifikasi, yaitu penambahan ketebalan *rock wolle* 1 cm, aluminium 2 mm dan penghilangan pipa nomor 6,8,16,18,34 dan 103, *head loss* yang terjadi pada saluran pipa sebelum masuk *steam header* sebesar 27712,317 mku dan *heat loss* sebesar 2951,541 kW.
b. Dari modifikasi ini laju masa uap baru yang ditambahkan menjadi sebesar 1,725103 [kg/dt]. Dengan selisih laju masa uap baru yang ditambahkan sebesar 0,105413 [kg/dt], maka laju kalor bahan bakar (minyak bakar) yang dihemat adalah sebesar 388812,897 [kcal/jam].

6.2 Saran

Dari hasil skripsi ini, saran yang diberikan oleh penulis adalah:

1. Untuk pabrik gula Kebon Agung, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang efisiensi instalasi perpipaan yang ada pada pabrik gula Kebon Agung.

2. Untuk penelitian selanjutnya dengan tema yang sama, diharapkan untuk meminimalkan asumsi, misalnya temperatur air, radiasi diabaikan, temperatur udara dan kecepatan udara.
3. Untuk penelitian selanjutnya dengan tema yang sama, diharapkan untuk memperhitungkan *losses* pada sambungan antara pipa lurus.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim: 2005: *Thermal Conductivity*; The Engineering Tool Box.
[www. engineeringtoolbox.com/thermal_conductivity-d_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal_conductivity-d_429.html)
- Cengel, Yunus A: 1998: *Heat Transfer A Practical Approach*, 3rd edition;
 McGraw-Hill, New York.
- Chapman, Alan J: 1984: *Heat Transfer*, 4th edition; Macmillan Publishing
 Company, New York.
- De Nevers, Noel: 1991: *Fluid Mechanics For Chemical Engineers*, 2nd edition;
 McGraw-Hill, Singapore.
- Dryden, I. G. C: 1982: *The Efficient of Use Energy*; Butterworth & Co, London.
- Fox, Robert W. McDonald, Alan T: 1994: *Introduction To Fluid Mechanics*, 4th
 edition; John Wiley & Sons, New York.
- Incropera, Frank P. De Witt, David P: 1996: *Introduction To Heat Transfer*, 3rd
 edition; John Wiley & Sons, New York.
- Moran, Michael J. Saphiro, Howard N: 2000: *Fundamentals Of Engineering
 Thermodynamics*, 4th edition; John Wiley & Sons, New York.
- Munson, Bruce R. Young, Donald F. Okiishi, Theodore H: 1998: *Fundamentals
 Of Fluid Mechanics*, 3rd edition; John Wiley & Sons, New York.
- Nayyar, Mohinder L: 2002: *Piping Databook*; McGraw-Hill, New York.
- Raswari: 1986: *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipa*; Penerbit
 Universitas Indonesia, Jakarta.

LAMPIRAN

Tabel 1. *Properties of superheated water vapor*

T (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)
p = 1.5 bar = 0.15 MPa (T _{sat} = 111.37 °C)				
<i>Saturated</i>	1.159	2519.7	2693.6	7.2233
120	1.188	2533.3	2711.4	7.2693
160	1.317	2595.2	2792.8	7.4665
200	1.444	2656.2	2872.9	7.6433
240	1.570	2717.2	2952.7	7.8052
280	1.695	2778.6	3032.8	7.9555
320	1.819	2840.6	3113.5	8.0964
360	1.943	2903.5	3195.0	8.2293
400	2.067	2967.3	3277.4	8.3555
440	2.191	3032.1	3360.7	8.4757
500	2.376	3131.2	3487.6	8.6466
600	2.685	3301.7	3704.3	8.9101
p = 3 bar = 0.3 MPa (T _{sat} = 133.55 °C)				
<i>Saturated</i>	0.606	2543.6	2725.3	6.9919
120	0.651	2587.1	2782.3	7.1276
160	0.716	2650.7	2865.5	7.3115
200	0.781	2713.1	2947.3	7.4774
240	0.844	2775.4	3028.6	7.6299
280	0.907	2838.1	3110.1	7.7722
320	0.969	2901.4	3192.2	7.9061
360	1.032	2965.6	3275.0	8.0330
400	1.094	3030.6	3358.7	8.1538
440	1.187	3130.0	3486.0	8.3251
500	1.341	3300.8	3703.2	8.5892
p = 15 bar = 1.5 MPa (T _{sat} = 198.32 °C)				
<i>Saturated</i>	0.1318	2594.5	2792.2	6.4448
200	0.1325	2598.1	2796.8	6.4546
240	0.1483	2676.9	2899.3	6.6628
280	0.1627	2748.6	2992.7	6.8381
320	0.1765	2817.1	3081.9	6.9938
360	0.1899	2884.4	3169.2	7.1363
400	0.2030	2951.3	3255.8	7.2960
440	0.2160	3018.5	3342.5	7.3940
500	0.2352	3120.3	3473.1	7.5698
540	0.2478	3189.1	3560.9	7.6805
600	0.2668	3293.9	3694.0	7.8385
640	0.2793	3364.8	3783.8	7.9391
p = 20 bar = 2 MPa (T _{sat} = 212.42 °C)				
<i>Saturated</i>	0.0996	2600.3	2799.5	6.3409
240	0.1085	2659.6	2876.5	6.4952
280	0.1200	2736.4	2976.4	6.6828
320	1.1308	2807.9	3069.5	6.8452
360	0.1411	2877.0	3159.3	6.9917
400	0.1512	2945.2	3247.6	7.1271
440	0.1611	3013.4	3335.5	7.2540
500	0.1757	3116.2	3467.6	7.4317
540	0.1853	3185.6	3556.1	7.5434
600	0.1996	3290.9	3690.1	7.7024
640	0.2091	3362.2	3780.4	7.8035
700	0.2232	3470.9	3917.4	7.9487

Sumber : Moran; 2000; 816-817

Tabel 2. Uap panas lanjut

		Pressure, kN/m ² (kPa) (Sat, Temp., °C)							
T (°C)		100 (99.63)	500 (151.84)	1000 (179.88)	1500 (198.29)	2000 (212.37)	4000 (250.33)	6000 (275.55)	8000 (294.97)
<i>Saturated vapor</i>	c_p	2.027	2.329	2.595	2.280	3.025	3.788	4.613	5.600
	ρ	0.6903	2.8790	5.1469	7.5955	10.047	20.101	30.828	42.507
	$\mu \times 10^6$	12.26	14.08	15.07	15.72	16.22	17.61	18.61	19.49
	$k \times 10^3$	24.75	31.03	35.40	38.76	41.65	51.28	59.99	68.96
	Pr	1.00	1.06	1.10	1.14	1.18	1.30	1.43	1.58
150	c_p	1.987							
	ρ	0.2165							
	$\mu \times 10^6$	14.19							
	$k \times 10^3$	28.80							
	Pr	0.98							
200	c_p	1.979	2.161	2.446	2.800				
	ρ	0.1804	2.6163	4.8563	7.5538				
	$\mu \times 10^6$	16.18	16.07	15.93	15.79				
	$k \times 10^3$	33.37	34.24	36.06	38.75				
	Pr	0.96	1.01	1.08	1.14				
250	c_p	1.990	2.088	2.233	2.406	2.608			
	ρ	0.1567	2.1078	4.2965	6.5793	8.9727			
	$\mu \times 10^6$	18.22	18.15	18.07	17.99	17.91			
	$k \times 10^3$	38.28	38.81	39.69	40.82	42.22			
	Pr	0.95	0.98	1.02	1.06	1.11			
300	c_p	2.010	2.066	2.145	2.235	2.337	2.876	3.715	5.232
	ρ	0.1390	1.9136	3.8763	5.8927	7.9681	16.997	27.666	41.214
	$\mu \times 10^6$	20.29	20.25	20.20	20.15	20.10	19.93	19.80	19.74
	$k \times 10^3$	43.49	43.89	44.49	45.17	45.95	50.14	56.67	67.27
	Pr	0.94	0.95	0.97	1.00	1.02	1.14	1.30	1.53
350	c_p	2.037	2.071	2.118	2.169	2.225	2.504	2.883	3.404
	ρ	0.1183	1.7542	3.5407	5.3610	7.2172	15.050	23.684	33.391
	$\mu \times 10^6$	22.37	22.35	22.32	22.29	22.27	22.18	22.14	22.13
	$k \times 10^3$	48.97	49.32	49.79	50.31	50.86	53.55	57.14	61.96
	Pr	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	1.04	1.12	1.22
400	c_p	2.067	2.090	2.120	2.152	2.186	2.346	2.550	2.806
	ρ	0.0923	1.6203	3.2628	4.9281	6.6170	13.629	21.107	29.146
	$\mu \times 10^6$	24.45	24.44	24.43	24.41	24.40	24.38	24.38	24.42
	$k \times 10^3$	54.71	55.02	55.43	55.87	56.33	58.41	60.96	64.08
	Pr	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.98	1.02	1.07

Keterangan : c_p = kJ/kg.K

ρ = kg/m³

μ = N.s/m²

k = W/m.K

Sumber : Chapman; 1984; 552-553

Tabel 3. Udara pada tekanan atmosfer

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg.K)	$\mu \cdot 10^7$ (N.s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m.K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.709
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

Sumber : Incropera; 1996; 757

Tabel 4. Konduktifitas termal material

Thermal Conductivity - k - (W/m K)			
Material/Substance	Temperature (°C)		
	25	125	225
Acetone	0.16		
Acrylic	0.2		
Air	0.024		
Alcohol	0.17		
Aluminum	180	200	250
Aluminum Oxide	30		
Ammonia	0.022		
Antimony	18.5		
Argon	0.016		
Asbestos-cement board	0.744		
Asbestos-cement sheets	0.166		
Asbestos-cement	2.07		
Asbestos, loosely packed	0.15		
Asphalt	0.75		
Balsa	0.048		
Bitumen	0.17		
Benzene	0.16		
Beryllium	218		
Brass	109		
Bronze	65	70	90
Brick work	0.69		
Cadmium	92		
Carbon	1.7		
Cement, portland	0.29		
Cement, mortar	1.73		
Cobalt	69		
Concrete	0.9 - 2		
Constantan	22		
Copper	401	400	398
Corian (ceramic filled)	1.06		
Corkboard	0.043		
Cork, regranulated	0.044		
Cork, ground	0.043		
Cotton	0.03		
AISI 1010	54	51	47
Cotton Wool insulation	0.029		
Diatomaceous earth (Sil-o-cel)	0.06		
Ether	0.14		
Epoxy	0.35		
Felt insulation	0.04		

Fiberglass	0.04		
Fiber insulating board	0.048		
Fireclay brick 500°C	1.04		
Foam Glass	0.045		
Gasoline	0.15		
Glass	1.05		
Glass Pearls, dry	0.18		
Glass Pearls, saturated	0.76		
Glass Wool Insulation	0.04		
Glycerol	0.28		
Gold	310	312	310
Granite	1.7 - 4.0		
Gypsum or plaster board	0.17		
Hardboard high density	0.15		
Hardwoods (oak, maple..)	0.16		
Helium	0.142		
Hydrogen	0.168		
Ice	2.18		
Insulation materials	0.035 - 0.16		
Iridium	147		
Iron	80	68	60
Iron, wrought	59		
Iron, cast	55		
Kapok insulation	0.034		
Kerosene	0.15		
Lead Pb	35		
Leather	0.14		
Limestone	1.26 - 1.33		
Magnesia insulation	0.07		
Magnesium	156		
Marble	3		
Mercury	8		
Methane	0.030		
Methanol	0.21		
Mica	0.75		
Molybdenum	138		
Monel	26		
Nickel	91		
Nitrogen	0.024		
Nylon 6	0.25		
Oil, machine	0.15		
Olive oil	0.17		
Oxygen	0.024		

Paper	0.05		
Paraffin Wax	0.25		
Plaster, gypsum	0.48		
Plaster, metal lath	0.47		
Plaster, wood lath	0.28		
Platinum	70	71	72
Plywood	0.13		
Polyethylene HD	0.42 - 0.51		
Polypropylene	0.1 - 0.22		
Polystyrene expanded	0.03		
Porcelain	1.05		
PTFE	0.25		
PVC	0.19		
Pyrex glass	1.005		
Quartz mineral	3		
Rock Wool insulation	0.045		
Sand, dry	0.35		
Sand, saturated	2.7		
Saw Dust	0.06		
Silicone oil	0.1		
Silver	429		
Snow (temp < 0°C)	0.05 - 0.25		
Sodium	84		
Softwoods (fir, pine ..)	0.12		
Steel	46		
Stainless Steel	16	17	19

Sumber : http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.htm

Tabel 5. Dimensi pipa

Nominal dia. NPS	Schedule ¹	D, outside dia., in	t, wall thick., in	d, inside dia., in	A _i , inside area, in ²	A _m , metal area, in ²	A _{os} , outside surf., in ² /ft	A _{is} , inside surf., in ² /ft	w _p , pipe wt., lb/ft	w _w , water wt., lb/ft	I, mom. of inert, in ⁴	z _e , elast sec. mod., in ³	R _p , rad. of gyr., in	z _p , plast sec. mod., in ³
8	5S	8.625	0.109	8.407	55.510	2.917	2.258	2.201	9.905	24.051	26.451	6.133	3.011	7.908
	10S	8.625	0.148	8.329	54.485	3.941	2.258	2.181	13.384	23.607	35.422	8.214	2.998	10.638
		8.625	0.219	8.187	52.643	5.784	2.258	2.143	19.642	22.809	51.134	11.857	2.973	15.482
	20	8.625	0.250	8.125	51.849	6.578	2.258	2.127	22.338	22.465	57.737	13.388	2.962	17.544
	30	8.625	0.277	8.071	51.162	7.265	2.258	2.113	24.671	22.167	63.371	14.695	2.953	19.315
	Std 40	8.625	0.322	7.981	50.027	8.399	2.258	2.089	28.524	21.676	72.509	16.814	2.938	22.215
	60	8.625	0.406	7.813	47.944	10.483	2.258	2.045	35.600	20.773	88.756	20.581	2.909	27.453
	XS 80	8.625	0.500	7.625	45.664	12.763	2.258	1.996	43.342	19.785	105.743	24.520	2.878	33.056
	100	8.625	0.593	7.439	43.463	14.963	2.258	1.948	50.815	18.832	121.354	28.140	2.847	38.333
	120	8.625	0.718	7.189	40.591	17.835	2.258	1.882	60.569	17.587	140.570	32.596	2.807	45.022
	140	8.625	0.812	7.001	38.495	19.931	2.258	1.833	67.685	16.679	153.762	35.655	2.777	49.756
	160	8.625	0.906	6.813	36.456	21.970	2.258	1.784	74.610	15.795	165.928	38.476	2.748	54.240
		8.625	1.000	6.625	34.472	23.955	2.258	1.734	81.350	14.936	177.132	41.074	2.719	58.486
		8.625	1.125	6.375	31.919	26.507	2.258	1.669	90.018	13.830	190.621	44.202	2.681	63.769
10	5S	10.75	0.134	10.482	86.293	4.470	2.814	2.744	15.179	37.389	62.991	11.719	3.754	15.107
	10S	10.75	0.165	10.420	85.276	5.487	2.814	2.728	18.633	36.949	76.884	14.304	3.743	18.492
		10.75	0.219	10.312	83.517	7.246	2.814	2.700	24.607	36.186	100.517	18.701	3.724	24.298
	20	10.75	0.250	10.250	82.516	8.247	2.814	2.683	28.006	35.753	113.743	21.162	3.713	27.573
	30	10.75	0.307	10.136	80.691	10.072	2.814	2.654	34.205	34.962	137.458	25.574	3.694	33.497
	Std 40	10.75	0.365	10.020	78.854	11.908	2.814	2.623	40.440	34.166	160.776	29.912	3.674	39.389
	XS 60	10.75	0.500	9.750	74.662	16.101	2.814	2.553	54.678	32.350	212.005	39.443	3.628	52.583
	80	10.75	0.593	9.564	71.841	18.922	2.814	2.504	64.258	31.127	244.904	45.564	3.597	61.258
	100	10.75	0.718	9.314	68.134	22.629	2.814	2.438	76.846	29.521	286.203	53.247	3.556	72.397
	120	10.75	0.843	9.064	64.526	26.237	2.814	2.373	89.101	27.958	324.307	60.336	3.515	82.955
		10.75	0.875	9.000	63.617	27.145	2.814	2.356	92.185	27.564	333.570	62.060	3.505	85.567

		140	10.75	1.000	8.750	60.132	30.631	2.814	2.291	104.021	26.054	367.900	68.447	3.465	95.415
		160	10.75	1.125	8.500	56.745	34.018	2.814	2.225	115.523	24.587	399.410	74.309	3.426	104.716
			10.75	1.250	8.250	53.456	37.307	2.814	2.160	126.692	23.162	428.259	79.676	3.388	113.486
			10.75	1.500	7.750	47.173	43.590	2.814	2.029	148.030	20.439	478.587	89.039	3.313	129.495
12	SS		12.75	0.156	12.438	121.505	6.172	3.338	3.256	20.959	52.646	122.408	19.201	4.453	24.747
	10S		12.75	0.180	12.390	120.568	7.108	3.338	3.244	24.139	52.240	140.456	22.032	4.445	28.449
	20		12.75	0.250	12.250	117.859	9.818	3.338	3.207	33.340	51.066	191.874	30.098	4.420	39.076
	30		12.75	0.330	12.090	114.800	12.876	3.338	3.165	43.727	49.741	248.517	38.983	4.393	50.927
	Std		12.75	0.375	12.000	113.698	14.579	3.338	3.142	49.510	49.003	279.407	43.829	4.377	57.457
	40		12.75	0.406	11.938	111.933	15.744	3.338	3.125	53.466	48.498	300.275	47.102	4.367	61.896
	XS		12.75	0.500	11.750	108.434	19.242	3.338	3.076	65.346	46.983	361.637	56.727	4.335	75.088
	60		12.75	0.562	11.626	106.157	21.519	3.338	3.044	73.079	45.996	400.528	62.828	4.314	83.561
	80		12.75	0.687	11.376	101.641	26.036	3.338	2.978	88.416	44.039	475.231	74.546	4.272	100.099
			12.75	0.750	11.250	99.402	28.274	3.338	2.945	96.019	43.069	511.057	80.166	4.251	108.162
	100		12.75	0.843	11.064	96.143	31.534	3.338	2.897	107.088	41.657	561.790	88.124	4.220	119.740
			12.75	0.875	11.000	95.033	32.643	3.338	2.880	110.856	41.176	578.671	90.772	4.210	123.637
	120		12.75	1.000	10.750	90.763	36.914	3.338	2.814	125.358	39.326	641.829	100.679	4.169	138.424
	140		12.75	1.125	10.500	86.590	41.086	3.338	2.749	139.528	37.518	700.731	109.919	4.129	152.538
			12.75	1.250	10.250	82.516	45.161	3.338	2.683	153.364	35.753	755.572	118.521	4.090	165.997
	160		12.75	1.312	10.126	80.531	47.145	3.338	2.651	160.104	34.893	781.330	122.562	4.070	172.434
14	SS		14	0.156	13.688	147.154	6.784	3.665	3.584	23.039	63.759	162.590	23.227	4.895	29.903
	10S		14	0.188	13.624	145.781	8.157	3.665	3.567	27.702	63.164	194.609	27.801	4.884	35.873
			14	0.210	13.580	144.841	9.098	3.665	3.555	30.896	62.757	216.364	30.909	4.876	39.946
			14	0.219	13.562	144.456	9.482	3.665	3.551	32.201	62.590	225.215	32.174	4.875	41.606
	10		14	0.250	13.500	143.139	10.799	3.665	3.534	36.674	62.020	255.366	36.481	4.862	47.280
			14	0.281	13.438	141.828	12.110	3.665	3.518	41.126	61.452	285.105	40.729	4.851	52.902

Nominal dia. NPS	Schedule [†]	D, outside dia., in	t, wall thick., in	d, inside dia., in	A _i , inside area, in ²	A _m , metal area, in ²	A _o , outside surf., in ² /ft	A _i , inside surf., in ² /ft	w _p , pipe wt., lb/ft	w _w , water wt., lb/ft	I, mom. of inert, in ⁴	Z _e , elast sec. mod., in ³	R _g , rad. of gyr., in	Z _p , plast sec. mod., in ³
	20	14	0.312	13.376	140.521	13.417	3.665	3.502	45.564	60.885	314.472	44.925	4.841	58.480
		14	0.344	13.312	139.180	14.759	3.665	3.485	50.121	60.304	344.345	49.192	4.830	64.180
	Std 30	14	0.375	13.250	137.887	16.052	3.665	3.469	54.511	59.744	372.856	53.265	4.819	69.647
		40	0.437	13.126	135.318	18.621	3.665	3.436	63.235	58.631	428.724	61.246	4.798	80.434
		14	0.469	13.062	134.001	19.937	3.665	3.420	67.707	58.060	456.950	65.279	4.787	85.923
	XS	14	0.500	13.000	132.733	21.206	3.665	3.403	72.014	57.511	483.881	69.126	4.776	91.185
		60	0.593	12.814	128.962	24.977	3.665	3.355	84.820	55.877	562.425	80.346	4.745	106.680
		14	0.625	12.750	127.677	26.262	3.665	3.338	89.185	55.320	588.681	84.097	4.734	111.910
		80	0.750	12.500	122.719	31.220	3.665	3.273	106.021	53.172	687.495	98.214	4.692	131.839
		100	0.937	12.126	115.485	38.454	3.665	3.175	130.587	50.038	824.654	117.808	4.630	160.199
		120	1.093	11.814	109.619	44.319	3.665	3.093	150.508	47.496	929.755	132.822	4.580	182.554
		140	1.250	11.500	103.869	50.069	3.665	3.011	170.034	45.005	1027.464	146.781	4.529	203.895
		160	1.406	11.188	98.310	55.628	3.665	2.929	188.912	42.596	1116.925	159.561	4.480	223.973
16	5S	16	0.165	15.670	192.854	8.208	4.189	4.102	27.875	83.560	257.369	32.171	5.599	41.383
	10S	16	0.188	15.624	191.724	9.339	4.189	4.090	31.713	83.071	291.967	36.496	5.591	47.013
		10	0.250	15.500	188.692	12.370	4.189	4.058	42.008	81.757	383.763	47.970	5.569	62.033
		20	0.312	15.376	185.685	15.377	4.189	4.025	52.221	80.454	473.381	59.173	5.548	76.815
	Std 30	16	0.375	15.250	182.555	18.408	4.189	3.992	62.513	79.141	562.229	70.279	5.526	91.589
	XS 40	16	0.500	15.000	176.715	24.347	4.189	3.927	82.683	76.568	732.130	91.516	5.483	120.191
		60	0.656	14.688	169.441	31.622	4.189	3.845	107.386	73.416	932.556	116.570	5.430	154.569
		80	0.844	14.312	160.870	40.193	4.189	3.747	136.493	69.702	1157.907	144.738	5.367	194.139
		100	1.031	13.938	152.579	48.484	4.189	3.649	164.650	66.110	1364.767	170.596	5.305	231.426
		120	1.218	13.564	144.500	56.563	4.189	3.551	192.085	62.609	1555.804	194.475	5.244	266.796
		140	1.437	13.126	135.318	65.745	4.189	3.436	223.267	58.631	1760.316	220.040	5.174	305.812
		160	1.593	12.814	128.962	72.101	4.189	3.355	244.852	55.877	1894.017	236.752	5.125	332.058

18	SS	18	0.165	17.670	245.225	9.245	4.712	4.626	31.396	106.251	367.715	40.857	6.306	52.496
	10S	18	0.188	17.624	243.950	10.520	4.712	4.614	35.725	105.699	417.348	46.372	6.298	59.658
	10	18	0.250	17.500	240.529	13.941	4.712	4.582	47.343	104.217	549.279	61.031	6.276	78.787
	20	18	0.312	17.376	237.132	17.338	4.712	4.549	58.879	102.745	678.434	75.382	6.255	97.646
	Std	18	0.375	17.250	233.706	20.764	4.712	4.516	70.514	101.261	806.839	89.649	6.233	116.531
	30	18	0.437	17.126	230.357	24.112	4.712	4.484	81.885	99.810	930.519	103.391	6.211	134.854
	XS	18	0.500	17.000	226.961	27.489	4.712	4.451	93.352	98.347	1053.441	117.049	6.190	153.197
	40	18	0.562	16.876	223.681	30.789	4.712	4.418	104.557	96.917	1171.802	130.200	6.168	170.991
	60	18	0.750	16.500	213.825	40.644	4.712	4.320	138.028	92.647	1515.027	168.336	6.105	223.357
	80	18	0.937	16.126	204.241	50.228	4.712	4.222	170.574	88.494	1833.952	203.772	6.042	273.135
	100	18	1.156	15.688	193.298	61.171	4.712	4.107	207.737	83.753	2180.223	242.247	5.969	328.557
	120	18	1.375	15.250	182.655	71.815	4.712	3.992	243.882	79.141	2498.733	277.637	5.898	380.980
	140	18	1.562	14.876	173.805	80.665	4.712	3.895	273.935	75.307	2749.824	305.536	5.838	423.421
	160	18	1.781	14.438	163.722	90.748	4.712	3.780	308.177	70.938	3020.719	335.635	5.769	470.477
20	SS	20	0.188	19.624	302.459	11.701	5.236	5.138	39.736	131.050	574.296	57.430	7.005	73.807
	10S	20	0.218	19.564	300.612	13.548	5.236	5.122	46.007	130.250	662.943	66.294	6.994	85.327
	10	20	0.250	19.500	298.648	15.512	5.236	5.105	52.677	129.399	756.628	75.663	6.983	97.540
	Std	20	0.375	19.250	291.040	23.120	5.236	5.040	78.516	126.102	1113.757	111.376	6.940	144.474
	XS	20	0.500	19.000	283.529	30.631	5.236	4.974	104.021	122.848	1457.239	145.724	6.897	190.205
	40	20	0.593	18.814	278.006	36.154	5.236	4.926	122.779	120.455	1704.125	170.412	6.865	223.454
	60	20	0.812	18.376	265.211	48.949	5.236	4.811	166.228	114.911	2257.342	225.734	6.790	299.203
		20	0.875	18.250	261.587	52.573	5.236	4.778	178.536	113.341	2409.306	240.931	6.769	320.332
	80	20	1.031	17.938	252.720	61.440	5.236	4.696	208.647	109.499	2772.292	277.229	6.716	371.412
	100	20	1.281	17.438	238.828	75.332	5.236	4.565	255.825	103.480	3315.838	331.584	6.634	449.649
	120	20	1.500	17.000	226.981	87.179	5.236	4.451	296.059	98.347	3755.119	375.512	6.562	514.603

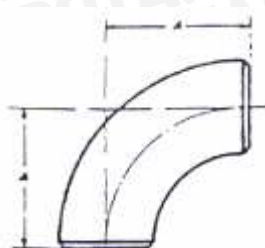
Nominal dia. NPS	Schedule ^a	D_o , outside dia., in	t , wall thick., in	d_i , inside dia., in	A_i , inside area, in ²	A_m , metal area, in ²	A_o , outside surf., in ² /ft	A_{si} , inside surf., in ² /ft	w_p , pipe wt., lb/ft	w_w , water wt., lb/ft	I , mom. of inert., in ⁴	Z_e , elast sec. mod., in ³	R_g , rad. of gyr., in	Z_p , plast sec. mod., in ³
22	140	20	1.750	16.500	213.825	100.335	5.236	4.320	340.735	92.647	4216.705	421.670	6.482	584.763
	160	20	1.968	16.064	202.675	111.485	5.236	4.206	378.602	87.815	4586.375	458.637	6.413	642.568
	SS	22	0.188	21.624	367.252	12.882	5.760	5.661	43.747	159.124	766.356	69.669	7.712	89.460
	10S	22	0.218	21.564	365.216	14.917	5.760	5.645	50.659	158.242	885.013	80.456	7.701	103.452
	10	22	0.250	21.500	363.051	17.082	5.760	5.629	58.012	157.304	1010.524	91.866	7.690	118.294
	Std	20	0.375	21.250	354.657	25.476	5.760	5.563	86.517	153.667	1490.053	135.459	7.647	175.418
	XS	30	0.500	21.000	346.361	33.772	5.760	5.498	114.690	150.072	1952.953	177.541	7.603	231.213
		22	0.625	20.750	338.164	41.970	5.760	5.432	142.529	146.520	2399.612	218.147	7.560	285.695
		22	0.750	20.500	330.064	50.069	5.760	5.367	170.034	143.011	2830.416	257.311	7.518	338.880
	60	22	0.875	20.250	322.063	58.071	5.760	5.301	197.206	139.544	3245.743	295.068	7.475	390.784
	80	22	1.125	19.750	306.355	73.779	5.760	5.171	250.550	132.738	4031.466	366.497	7.391	490.809
	100	22	1.375	19.250	291.040	89.094	5.760	5.040	302.561	126.102	4759.726	432.702	7.308	585.896
	120	22	1.625	18.750	276.117	104.016	5.760	4.909	353.237	119.637	5433.397	493.945	7.227	676.169
	140	22	1.875	18.250	261.587	118.546	5.760	4.778	402.581	113.341	6055.276	550.480	7.146	761.754
	160	22	2.125	17.750	247.450	132.684	5.760	4.647	450.590	107.216	6628.089	602.554	7.067	842.775
24	10	24	0.250	23.500	433.737	18.653	6.283	6.152	63.346	187.931	1315.681	109.640	8.397	141.049
	Std	20	0.375	23.250	424.558	27.833	6.283	6.087	94.519	183.953	1942.798	161.900	8.354	209.362
	XS	24	0.500	23.000	415.477	36.914	6.283	6.021	125.358	180.019	2550.009	212.501	8.310	276.222
	30	24	0.562	22.876	411.008	41.382	6.283	5.989	140.533	178.083	2843.968	236.997	8.289	308.854
		24	0.625	22.750	406.494	45.897	6.283	5.956	155.865	176.127	3137.738	261.478	8.267	341.644
	40	24	0.687	22.626	402.074	50.317	6.283	5.923	170.874	174.212	3422.191	285.183	8.246	373.569
		24	0.750	22.500	397.609	54.782	6.283	5.891	186.037	172.277	3706.409	308.867	8.224	405.644
	SS	24	0.218	23.564	436.103	16.287	6.283	6.169	55.310	188.956	1151.846	95.987	8.409	123.321
		24	0.875	22.250	388.822	63.568	6.283	5.825	215.877	168.470	4256.436	354.703	8.152	468.237
	60	24	0.968	22.064	382.349	70.041	6.283	5.776	237.859	165.665	4653.773	387.814	8.150	513.899
	80	24	1.218	21.564	365.216	87.174	6.283	5.645	296.041	158.242	5673.245	472.770	8.066	632.891

		100	24	1.531	20.938	344.320	108.070	6.283	5.482	367.004	149.188	6853.399	571.117	7.962	774.279
		120	24	1.812	20.376	326.083	126.307	6.283	5.334	428.937	141.286	7826.587	652.216	7.871	894.226
		140	24	2.062	19.676	310.276	142.114	6.283	5.204	482.617	134.437	8627.250	718.938	7.790	995.515
		160	24	2.343	19.314	292.979	159.412	6.283	5.056	541.358	126.943	9457.825	788.152	7.702	1103.432
26			26	0.250	25.500	510.706	20.224	6.807	6.676	68.680	221.290	1676.811	128.985	9.104	165.804
		10	26	0.312	25.376	505.751	25.179	6.807	6.643	85.509	219.133	2077.742	159.826	9.083	205.937
	Std		26	0.375	25.250	500.742	30.189	6.807	6.610	102.521	216.963	2479.052	190.697	9.061	246.307
	XS	20	26	0.500	25.000	490.875	40.055	6.807	6.545	136.027	212.688	3257.834	250.603	9.017	325.232
			26	0.625	24.750	481.107	49.824	6.807	6.480	169.201	208.455	4013.590	308.738	8.974	402.594
			26	0.750	24.500	471.436	59.494	6.807	6.414	202.040	204.265	4746.789	365.138	8.931	478.408
			26	0.875	24.250	461.864	69.066	6.807	6.349	234.547	200.118	5457.882	419.837	8.888	552.691
			26	1.000	24.000	452.390	78.540	6.807	6.283	266.720	196.013	6147.320	472.871	8.846	625.458
			26	1.125	23.750	443.015	87.916	6.807	6.218	298.560	191.950	6815.546	524.273	8.804	696.725
28			28	0.250	27.500	593.959	21.795	7.330	7.200	74.015	257.352	2098.629	149.902	9.812	192.559
		10	28	0.312	27.376	588.614	27.140	7.330	7.167	92.166	255.036	2601.756	185.840	9.790	239.251
	Std		28	0.375	27.250	583.209	32.545	7.330	7.134	110.522	252.694	3105.915	221.851	9.768	286.253
	XS	20	28	0.500	27.000	572.557	43.197	7.330	7.069	146.696	248.079	4085.857	291.847	9.724	378.242
		30	28	0.625	26.750	562.003	53.751	7.330	7.003	182.537	243.506	5038.952	359.925	9.681	468.544
			28	0.750	26.500	551.547	64.206	7.330	6.938	218.044	238.976	5965.696	426.121	9.638	557.174
			28	0.875	26.250	541.190	74.564	7.330	6.872	253.217	234.488	6866.580	490.470	9.595	644.147
			28	1.000	26.000	530.930	84.823	7.330	6.807	288.058	230.043	7742.088	553.006	9.552	729.479
			28	1.125	25.750	520.769	94.984	7.330	6.741	322.565	225.640	8592.702	613.764	9.510	813.186
30	SS		30	0.250	29.500	683.494	23.366	7.854	7.723	79.349	296.146	2585.848	172.390	10.519	221.315
		10	30	0.312	29.376	677.760	29.100	7.854	7.691	98.824	293.661	3207.211	213.814	10.497	275.062
	Std		30	0.375	29.250	671.959	34.901	7.854	7.658	118.524	291.148	3830.429	255.362	10.475	329.199

Nominal dia. NPS	Schedule ¹	D, outside dia., in	t, wall thick., in	d, inside dia., in	A _i , inside area, in ²	A _M , metal area, in ²	A _{so} , outside surf., in ² /ft	A _{si} , inside surf., in ² /ft	w _p , pipe wt., lb/ft	w _w , water wt., lb/ft	I, mom. of inert, in ⁴	z _e , elast sec. mod., in ³	R _p , rad. of gyr., in	z _p , plast sec. mod., in ³
	XS 20	30	0.500	29.000	660.521	46.339	7.854	7.592	157.365	286.192	5043.503	336.234	10.431	435.254
	30	30	0.625	28.750	649.182	57.678	7.854	7.527	195.873	281.279	6225.607	415.040	10.388	539.496
	40	30	0.750	28.500	637.941	68.919	7.854	7.461	234.047	276.409	7377.272	491.818	10.345	641.941
		30	0.875	28.250	626.798	80.062	7.854	7.396	271.888	271.581	8499.026	566.602	10.302	742.604
		30	1.000	28.000	615.754	91.106	7.854	7.330	309.395	266.795	9591.390	639.426	10.259	841.502
		30	1.125	27.750	604.807	102.053	7.854	7.265	346.569	262.052	10654.884	710.326	10.217	938.649
32		32	0.250	31.500	779.313	24.936	8.378	8.247	84.684	337.663	3143.183	196.449	11.226	252.071
	10	32	0.312	31.376	773.189	31.061	8.378	8.214	105.481	335.009	3899.988	243.749	11.204	313.369
	Std	32	0.375	31.250	766.992	37.257	8.378	8.181	126.525	332.324	4659.673	291.230	11.182	375.145
	XS 20	32	0.500	31.000	754.769	49.480	8.378	8.116	168.034	327.028	6140.201	383.763	11.138	496.266
	30	32	0.625	30.750	742.645	61.605	8.378	8.050	209.209	321.775	7585.339	474.084	11.095	615.449
	40	32	0.688	30.624	736.572	67.678	8.378	8.017	229.832	319.144	8300.367	518.773	11.073	674.780
		32	0.750	30.500	730.618	73.631	8.378	7.985	250.050	316.564	8995.657	562.229	11.052	732.709
		32	0.875	30.250	718.690	85.560	8.378	7.919	290.558	311.396	10371.718	648.232	11.009	848.063
		32	1.000	30.000	706.860	97.390	8.378	7.854	330.733	306.270	11714.082	732.130	10.966	961.526
		32	1.125	29.750	695.128	109.122	8.378	7.789	370.574	301.187	13023.302	813.956	10.923	1073.113
34		34	0.250	33.500	881.415	26.507	8.901	8.770	90.018	381.902	3775.345	222.079	11.933	284.828
	10	34	0.312	33.376	874.901	33.021	8.901	8.738	112.139	379.079	4685.972	275.645	11.911	354.173
	Std	34	0.375	33.250	868.309	39.614	8.901	8.705	134.527	376.223	5600.717	329.454	11.889	424.093
	XS 20	34	0.500	33.000	855.301	52.622	8.901	8.639	178.702	370.587	7385.377	434.434	11.845	561.279
	30	34	0.625	32.750	842.391	65.532	8.901	8.574	222.545	364.993	9129.933	537.055	11.802	696.402
	40	34	0.688	32.624	835.922	72.000	8.901	8.541	244.512	362.190	9994.075	587.887	11.780	763.719
		34	0.750	32.500	829.579	78.344	8.901	8.509	266.053	359.442	10834.992	637.352	11.759	829.478
		34	0.875	32.250	816.865	91.057	8.901	8.443	309.229	353.933	12501.154	735.362	11.716	960.523
		34	1.000	32.000	804.250	103.673	8.901	8.378	352.070	348.467	14129.016	831.119	11.673	1089.551
		34	1.125	31.750	791.732	116.190	8.901	8.312	394.579	343.044	15719.168	924.657	11.630	1216.579

Sumber : Nayyar; 2002; 140-146

Tabel 6. Dimensi belokan 90° pendek

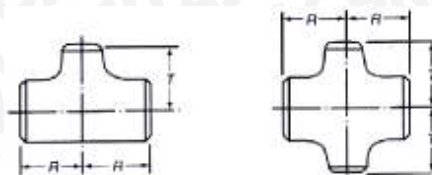


NPS	DN	Outside diameter at bevel	Center-to-end, A
1	25	33.4	25
1¼	32	42.2	32
1½	40	48.3	38
2	50	60.3	51
2½	65	73.0	64
3	80	88.9	76
3½	90	101.6	89
4	100	114.3	102
5	125	141.3	127
6	150	168.3	152
8	200	219.1	203
10	250	273.0	254
12	300	323.8	305
14	350	355.6	356
16	400	406.4	406
18	450	457	457
20	500	508	508
22	550	559	559
24	600	610	610

Keterangan : satuan dalam mm

Sumber : Nayyar; 2002; 163

Tabel 7. Dimensi tee diameter tidak sama



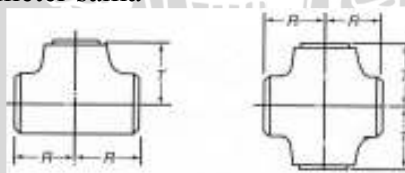
NPS	DN	Outside diameter at bevel		Center-to-end	
		Run, mm	Outlet, mm	Run R, mm	Outlet T, mm [†]
$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$	15 × 15 × 10	21.3	17.3	25	25
$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$	15 × 15 × 8	21.3	13.7	25	25
$\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$	20 × 20 × 15	26.7	21.3	29	29
$\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{8}$	20 × 20 × 10	26.7	17.3	29	29
$1 \times 1 \times \frac{3}{4}$	25 × 25 × 20	33.4	26.7	38	38
$1 \times 1 \times \frac{1}{2}$	25 × 25 × 15	33.4	21.3	38	38
$1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4} \times 1$	32 × 32 × 25	42.2	33.4	48	48
$1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$	32 × 32 × 20	42.2	26.7	48	48
$1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$	32 × 32 × 15	42.2	21.3	48	48
$1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{4}$	40 × 40 × 32	48.3	42.2	57	57
$1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 1$	40 × 40 × 25	48.3	33.4	57	57
$1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{3}{4}$	40 × 40 × 20	48.3	26.7	57	57
$1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$	40 × 40 × 15	48.3	21.3	57	57
$2 \times 2 \times 1\frac{1}{2}$	50 × 50 × 40	60.3	48.3	64	60
$2 \times 2 \times 1\frac{1}{4}$	50 × 50 × 32	60.3	42.2	64	57
$2 \times 2 \times 1$	50 × 50 × 25	60.3	33.4	64	51
$2 \times 2 \times \frac{3}{4}$	50 × 50 × 20	60.3	26.7	64	44
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 2$	65 × 65 × 50	73.0	60.3	76	70
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$	65 × 65 × 40	73.0	48.3	76	67
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{4}$	65 × 65 × 32	73.0	42.2	76	64
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 1$	65 × 65 × 25	73.0	33.4	76	57
$3 \times 3 \times 2\frac{1}{2}$	80 × 80 × 65	88.9	73.0	86	83
$3 \times 3 \times 2$	80 × 80 × 50	88.9	60.3	86	76
$3 \times 3 \times 1\frac{1}{2}$	80 × 80 × 40	88.9	48.3	86	73
$3 \times 3 \times 1\frac{1}{4}$	80 × 80 × 32	88.9	42.2	86	70
$3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times 3$	90 × 90 × 80	101.6	88.9	95	92
$3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$	90 × 90 × 65	101.6	73.0	95	89
$3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times 2$	90 × 90 × 50	101.6	60.3	95	83
$3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$	90 × 90 × 40	101.6	48.3	95	79
$4 \times 4 \times 3\frac{1}{2}$	100 × 100 × 90	114.3	101.6	105	102
$4 \times 4 \times 3$	100 × 100 × 80	114.3	88.9	105	98
$4 \times 4 \times 2\frac{1}{2}$	100 × 100 × 65	113.3	73.0	105	95
$4 \times 4 \times 2$	100 × 100 × 50	114.3	60.3	105	89
$4 \times 4 \times 1\frac{1}{2}$	100 × 100 × 40	114.3	48.3	105	86
$5 \times 5 \times 4$	125 × 125 × 100	141.3	114.3	124	117
$5 \times 5 \times 3\frac{1}{2}$	125 × 125 × 90	141.3	101.6	124	114
$5 \times 5 \times 3$	125 × 125 × 80	141.3	88.9	124	111
$5 \times 5 \times 2\frac{1}{2}$	125 × 125 × 65	141.3	73.0	124	108
$5 \times 5 \times 2$	125 × 125 × 50	141.3	60.3	124	105
$6 \times 6 \times 5$	150 × 150 × 125	168.3	141.3	143	137
$6 \times 6 \times 4$	150 × 150 × 100	168.3	114.3	143	130
$6 \times 6 \times 3\frac{1}{2}$	150 × 150 × 90	168.3	101.6	143	127
$6 \times 6 \times 3$	150 × 150 × 80	168.3	88.9	143	124
$6 \times 6 \times 2\frac{1}{2}$	150 × 150 × 65	168.3	73.0	143	121
$8 \times 8 \times 6$	200 × 200 × 150	219.1	168.3	178	168
$8 \times 8 \times 5$	200 × 200 × 125	219.1	141.3	178	162
$8 \times 8 \times 4$	200 × 200 × 100	219.1	114.3	178	156
$8 \times 8 \times 3\frac{1}{2}$	200 × 200 × 90	219.1	101.6	178	152

NPS	DN	Outside diameter at bevel		Center-to-end	
		Run, mm	Outlet, mm	Run R, mm	Outlet T, mm ¹
10 × 10 × 8	250 × 250 × 200	273.0	219.1	216	203
10 × 10 × 6	250 × 250 × 150	273.0	168.3	216	194
10 × 10 × 5	250 × 250 × 125	273.0	141.3	216	191
10 × 10 × 4	250 × 250 × 100	273.0	114.3	216	184
12 × 12 × 10	300 × 300 × 250	323.8	273.0	254	241
12 × 12 × 8	300 × 300 × 200	323.8	219.1	254	229
12 × 12 × 6	300 × 300 × 150	323.8	168.3	254	219
12 × 12 × 5	300 × 300 × 125	323.8	141.3	254	216
14 × 14 × 12	350 × 350 × 300	355.6	323.8	279	270
14 × 14 × 10	350 × 350 × 250	355.6	273.0	279	257
14 × 14 × 8	350 × 350 × 200	355.6	219.1	279	248
14 × 14 × 6	350 × 350 × 150	355.6	168.3	279	238
16 × 16 × 14	400 × 400 × 350	406.4	355.6	305	305
16 × 16 × 12	400 × 400 × 300	406.4	323.8	305	295
16 × 16 × 10	400 × 400 × 250	406.4	273.0	305	283
16 × 16 × 8	400 × 400 × 200	406.4	219.1	305	273
16 × 16 × 6	400 × 400 × 150	406.4	168.3	305	264
18 × 18 × 16	450 × 450 × 400	457	406.4	343	330
18 × 18 × 14	450 × 450 × 350	457	355.6	343	330
18 × 18 × 12	450 × 450 × 300	457	323.8	343	321
18 × 18 × 10	450 × 450 × 250	457	273.0	343	308
18 × 18 × 8	450 × 450 × 200	457	219.1	343	298
20 × 20 × 18	500 × 500 × 450	508	457	381	368
20 × 20 × 16	500 × 500 × 400	508	406.4	381	356
20 × 20 × 14	500 × 500 × 350	508	355.6	381	356
20 × 20 × 12	500 × 500 × 300	508	323.8	381	346
20 × 20 × 10	500 × 500 × 250	508	273.0	381	333
20 × 20 × 8	500 × 500 × 200	508	219.1	381	324
22 × 22 × 20	550 × 550 × 500	559	508	419	406
22 × 22 × 18	550 × 550 × 450	559	457	419	394
22 × 22 × 16	550 × 550 × 400	559	406.4	419	381
22 × 22 × 14	550 × 550 × 350	559	355.6	419	381
22 × 22 × 12	550 × 550 × 300	559	323.8	419	371
22 × 22 × 10	550 × 550 × 250	559	273.0	419	359
24 × 24 × 22	600 × 600 × 550	610	559	432	432
24 × 24 × 20	600 × 600 × 500	610	508	432	432
24 × 24 × 18	600 × 600 × 450	610	457	432	419
24 × 24 × 16	600 × 600 × 400	610	406.4	432	406
24 × 24 × 14	600 × 600 × 350	610	355.6	432	406
24 × 24 × 12	600 × 600 × 300	610	323.8	432	397
24 × 24 × 10	600 × 600 × 250	610	273.0	432	384
26 × 26 × 24	650 × 650 × 600	660	610	495	483
26 × 26 × 22	650 × 650 × 550	660	559	495	470
26 × 26 × 20	650 × 650 × 500	660	508	495	457
26 × 26 × 18	650 × 650 × 450	660	457	495	444
26 × 26 × 16	650 × 650 × 400	660	406.4	495	432
26 × 26 × 14	650 × 650 × 350	660	355.6	495	432
26 × 26 × 12	650 × 650 × 300	660	323.8	495	422
28 × 28 × 26	700 × 700 × 650	711	660	521	521
28 × 28 × 24	700 × 700 × 600	711	610	521	508
28 × 28 × 22	700 × 700 × 550	711	559	521	495
28 × 28 × 20	700 × 700 × 500	711	508	521	483
28 × 28 × 18	700 × 700 × 450	711	457	521	470
28 × 28 × 16	700 × 700 × 400	711	406.4	521	457
28 × 28 × 14	700 × 700 × 350	711	355.6	521	457
28 × 28 × 12	700 × 700 × 300	711	323.8	521	448

NPS	DN	Outside diameter at bevel		Center-to-end	
		Run, mm	Outlet, mm	Run R, mm	Outlet T, mm
30 x 30 x 28	750 x 750 x 700	762	711	559	546
30 x 30 x 26	750 x 750 x 650	762	660	559	546
30 x 30 x 24	750 x 750 x 600	762	610	559	533
30 x 30 x 22	750 x 750 x 550	762	559	559	521
30 x 30 x 20	750 x 750 x 500	762	508	559	508
30 x 30 x 18	750 x 750 x 450	762	457	559	495
30 x 30 x 16	750 x 750 x 400	762	406.4	559	483
30 x 30 x 14	750 x 750 x 350	762	355.6	559	483
30 x 30 x 12	750 x 750 x 300	762	323.8	559	473
30 x 30 x 10	750 x 750 x 250	762	273	559	460
32 x 32 x 30	800 x 800 x 750	813	762	597	584
32 x 32 x 28	800 x 800 x 700	813	711	597	572
32 x 32 x 26	800 x 800 x 650	813	660	597	572
32 x 32 x 24	800 x 800 x 600	813	610	597	559
32 x 32 x 22	800 x 800 x 550	813	559	597	546
32 x 32 x 20	800 x 800 x 500	813	508	597	533
32 x 32 x 18	800 x 800 x 450	813	457	597	521
32 x 32 x 16	800 x 800 x 400	813	406.4	597	508
32 x 32 x 14	800 x 800 x 350	813	355.6	597	508

Sumber : Nayar; 2002; 170-172

Tabel 8. Dimensi tee diameter sama

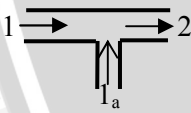


NPS	DN	Outside diameter at bevel	Center-to-end	
			Run, R	Outlet, T
½	15	21.3	25	25
¾	20	26.7	29	29
1	25	33.4	38	38
1 ¼	32	42.2	48	48
1 ½	40	48.3	57	57
2	50	60.3	64	64
2 ½	65	73.0	76	76
3	80	88.9	86	86
3 ½	90	101.6	95	95
4	100	114.3	105	105
5	125	141.3	124	124

6	150	168.3	143	143
8	200	219.1	178	178
10	250	273.0	216	216
12	300	323.8	254	254
14	350	355.6	279	279
16	400	406.4	305	305
18	450	457	343	343
20	500	508	381	381
22	550	559	419	419
24	600	610	432	432
26	650	660	495	495
28	700	711	521	521
30	750	762	559	559
32	800	813	597	597
34	850	864	635	635
36	900	914	673	673
38	950	965	711	711
40	1000	1016	749	749
42	1050	1067	762	711
44	1100	1118	813	762
46	1150	1168	851	800
48	1200	1219	889	838

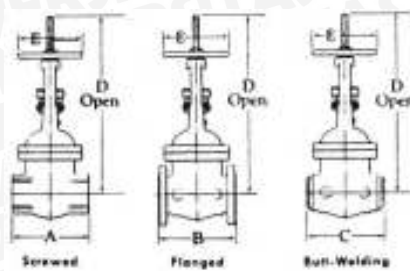
Sumber : Nayyar; 2002; 167

Tabel 9. K untuk sambungan tee

	Values of friction factor K $K_{1 \rightarrow 2}$ (refers to flow from branch 1 to branch 2)			
	Q_{1a}/Q_1 0.25	Q_{1a}/Q_1 0.5	Q_{1a}/Q_1 0.75	Q_{1a}/Q_1 1.0
Combining flow A_{1a}/A_1	Values of $K_{1a \rightarrow 2}$			
0.25	0.6	4.0	7.0	12.0
0.5	0.5	1.0	2.4	3.5
0.75	0.2	0.6	1.2	1.7
1.0	0.2	0.4	0.85	1.2
	Values of $K_{1 \rightarrow 2}$			
0.25	0.35	0.7	0.95	1.2
0.5	0.35	0.6	0.75	0.9
0.75	0.35	0.52	0.62	0.67
1.0	0.35	0.5	0.52	0.55

sumber : Dryden

Tabel 10. Dimensi katup



Class	Size of Valve	A	B	C	D	E
150-pound	2	6 ¼	7	8 ½	15 ¾	8
	2 ½	7	7 ½	9 ½	16 ½	8
	3	7 3/8	8	11 1/8	20 ¾	9
	3 ½		8 ½		23	9
	4	8	9	12	25 ¾	10
	5		10	15	30 ½	12
	6		10 ½	15 7/8	34 ¼	14
	8		11 ½	16 ½	44	16
	10		13	18	52 ½	18
	12		14	19 ¾	60 ½	18
	14		15	22 ½	70 ¼	22
	16		16	24	79 ¾	24
	18		17	26	89	27
300-pound	20		18	28	97 ¼	30
	24		20	32	112 ¾	30
	1 ½		7 ½		16 ¾	8
	2	7	8 ½	8 ½	18	8
	2 ½	8	9 ½	9 ½	19	8
	3	9	11 ½	11 ½	23 ¼	9
	4	11	12	12	28 ¼	10
	5		15	15	33 ½	12
	6		15 7/8	15 7/8	38 ½	14
	8		16 ½	16 ½	47	16
	10		18	18	56 ½	20
	12		19 ¾	19 ¾	64 ¼	20
	14		30	30	75 ¼	27
400-pound	16		33	33	81	27
	18		36	36	91 ½	30
	20		39	39	99 ¾	36
	24		45	45	120 ½	36
	4		16	16	30 ¾	12
	5		18	18	35	14
	6		19 ½	19 ½	40 ¼	16
	8		23 ½	23 ½	50 ½	20
	10		26 ½	26 ½	59 ¾	24
	12		30	30	67 ¾	24
	14		32 ½	32 ½	74 2/4	27
	16		35 ½	35 ½	80 ¾	27

Keterangan : dalam inci

Sumber : Raswari; 1986; 85-86

Tabel 11. Harga koefisien tahan katup dan alat penyambung

Katup dan alat penyambung	K
Y – Globe Valve	
½” – 2”	4,5 – 3,0
2” – 10”	3,0 – 2,0
Conventional Globe Valve	
½” – 2”	10 – 6,5
2” – 12”	6,5 – 4,5
Angle Valve	
½” – 2”	3,5 – 3,0
2” – 8”	3,0 – 2,0
Swing Check Valve	
½” – 4”	3,5 – 2,0
4” – 16”	2,0 – 1,5
Butterfly Valve	
Full bore inlet	0,4
Reduced bore inlet	0,8
Ball Valve	2,0 – 5,0
Gate Valve	
1” – 4”	0,3 – 0,21
4” – 24”	0,21 – 0,15
Close Return Bends	0,43 – 2,2
Elbow	
90° square	0,75 – 1,5
90° short	0,4 – 0,9
90° medium	0,25 – 0,8
90° long	0,2 – 0,6
45° medium	0,15 – 0,42

Sumber : Raswari; 1986: 424

Tabel 12. Saluran Turbin *IDF*

pipa	T_1 (°C)	T_{1a} (°C)	p_1 (N/m ²)	p_{1a} (N/m ²)	m_1 (kg/dt)	m_2 (kg/dt)	ρ_1 (kg/m ³)	V_1 (m/dt)	V_2 (m/dt)	ρ_2 (kg/m ³)	Z_1 (m)	Z_2 (m)	h_L (m)	p_2 (N/m ²)	q_{konv} (W)	T_2 (°C)
IDF									53,558					219002,1		160
1	160		219002,1		1,918894717	1,918894717	1,110836	53,557963	53,571	1,1105657	1	1	2,885765563	218916,59	22,09617	159,997
belokan	159,997		218916,59		1,918894717	1,918894717	1,1105657	53,571	53,584	1,1102962	1	1,203	73,15363166	218063,71	28,16854	159,995
katup	159,995		218063,71		1,918894717	1,918894717	1,1102962	53,584	53,636	1,1092198	1,203	1,495	29,2969633	217527,23	292,3571	159,991
2	159,991		217527,23		1,918894717	1,918894717	1,1092198	53,636	53,743	1,1070114	1,495	3,895	27,83281876	216759,47	212,1036	159,982
belokan	159,982		216759,47		1,918894717	1,918894717	1,1070114	53,743	53,756	1,1067437	3,895	4,098	73,6240762	215904,72	28,16525	159,98
3	159,98		215904,72		1,918894717	1,918894717	1,1067437	53,756	53,807	1,1056947	4,098	4,098	11,63678613	215570,82	88,37013	159,974
belokan	159,974		215570,82		1,918894717	1,918894717	1,1056947	53,807	53,824	1,1053454	4,098	3,895	73,80499593	214703,63	28,16349	159,971
4	159,971		214703,63		1,918894717	1,918894717	1,1053454	53,824	53,938	1,1030092	3,895	1,895	23,35976779	214011,94	176,7239	159,959
belokan	159,959		214011,94		1,918894717	1,918894717	1,1030092	53,938	53,956	1,1026413	1,895	1,692	74,16612663	213139,42	28,1603	159,956
5	159,956		213139,42		1,918894717	1,918894717	1,1026413	53,956	54,214	1,0973939	1,692	1,692	58,84247119	211476,33	441,7476	159,937
belokan	159,937		211476,33		1,918894717	1,918894717	1,0973939	54,214	54,227	1,0971308	1,692	1,895	74,92004639	210616,32	28,15536	159,934
6	159,934		210616,32		1,918894717	1,918894717	1,0971308	54,227	54,306	1,0955348	1,895	3,895	23,69522575	210029,09	176,6782	159,928
belokan	159,928		210029,09		1,918894717	1,918894717	1,0955348	54,306	54,321	1,0952323	3,895	4,098	75,17727529	209160,3	28,15383	159,927
7	159,927		209160,3		1,918894717	1,918894717	1,0952323	54,321	54,373	1,0941849	4,098	4,098	11,88278891	208829,62	88,33464	159,922
belokan	159,922		208829,62		1,918894717	1,918894717	1,0941849	54,373	54,391	1,0938227	4,098	3,895	75,36702151	207952,9	28,15235	159,919
8	159,919		207952,9		1,918894717	1,918894717	1,0938227	54,391	54,507	1,0914949	3,895	1,895	23,85486936	207269,44	176,654	159,907
belokan	159,907		207269,44		1,918894717	1,918894717	1,0914949	54,507	54,526	1,0911146	1,895	1,692	75,74028472	206387,54	28,14907	159,904
9	159,904		206387,54		1,918894717	1,918894717	1,0911146	54,526	54,628	1,0890773	1,692	1,962	23,96715838	205740,06	176,6361	159,895
cabang	159,895	159,981	205740,06	215194,9	1,918894717	2,771736813	1,0890773	54,628	158,104	0,5435406	1,692	1,962	418,4952045	201447,62	342,8732	159,902
difuser	159,902		201447,62		2,771736813	2,771736813	0,5435406	158,104	62,528	0,5658594	1,692	1,692	497,4935332	212924	108,9497	159,874
14	159,874		212924		2,771736813	2,771736813	0,5658594	62,528	62,656	0,5647034	1,692	1,692	30,34102623	212316,41	478,826	159,854
belokan	159,854		212316,41		2,771736813	2,771736813	0,5647034	62,656	62,679	0,5644962	1,692	1,692	100,0819459	211683,46	120,4609	159,848
15	159,848		211683,46		2,771736813	2,771736813	0,5644962	62,679	62,853	0,5629335	1,692	1,692	35,5949431	210894,73	541,8674	159,824
belokan	159,824		210894,73		2,771736813	2,771736813	0,5629335	62,853	62,872	0,5627633	1,692	1,997	100,705757	210272,67	120,447	159,819
16	159,819		210272,67		2,771736813	2,771736813	0,5627633	62,872	62,953	0,5620393	1,997	3,997	20,43502796	209875,56	382,4466	159,803
belokan	159,803		209875,56		2,771736813	2,771736813	0,5620393	62,953	62,972	0,5618697	3,997	4,302	101,026412	209253,03	120,4375	159,799
17	159,799		209253,03		2,771736813	2,771736813	0,5618697	62,972	63,024	0,5614061	4,302	4,302	10,24530467	209022,11	266,2038	159,783
belokan	159,783		209022,11		2,771736813	2,771736813	0,5614061	63,024	63,052	0,5611568	4,302	1,997	101,2688441	208372,5	120,4269	159,774
18	159,774		208372,5		2,771736813	2,771736813	0,5611568	63,052	63,186	0,5599667	1,997	1,997	20,5693974	207823,86	272,3267	159,726
belokan	159,726		207823,86		2,771736813	2,771736813	0,5599667	63,186	63,215	0,5597098	1,997	1,692	101,7916208	207170,25	120,3996	159,716

19	159,716		207170,25		2,771736813	2,771736813	0,5597098	63,215	63,314	0,5588347	1,692	1,692	20,6643386	206729,53	282,2448	159,701
cabang	159,701	139,991	206729,53	217713,9	2,771736813	3,401655428	0,5588347	63,314	118,074	0,3677622	1,692	1,692	278,7687323	202986,85	1016,675	159,676
22	159,676		202986,85		3,401655428	3,401655428	0,3677622	118,074	119,769	0,3625576	1,692	1,692	219,0500523	199261,96	757,1688	159,216
difuser	159,216		199261,96		3,401655428	3,401655428	0,3625576	119,769	21,863	0,3782281	1,692	1,692	339,0470668	209238,84	273,0478	159,132
23	159,132		209238,84		3,401655428	3,401655428	0,3782281	21,863	22,046	0,3750885	1,692	1,692	1,628961272	207494,49	867,7616	159,01
belokan	159,01		207494,49		3,401655428	3,401655428	0,3750885	22,046	22,087	0,3743922	1,692	1,692	17,37264503	207045,17	326,3678	158,969
24	158,969		207045,17		3,401655428	3,401655428	0,3743922	22,087	23,146	0,3572626	1,692	1,692	11,52452919	197523,28	5871,57	156,736
cabang	156,736	139,962	197523,28	213568,8	3,401655428	3,842598458	0,3572626	23,146	35,286	0,2647255	1,692	1,692	252,3597286	196401,54	1277,926	156,632
28	156,632		196401,54		3,842598458	3,842598458	0,2647255	35,286	35,348	0,2642612	1,692	1,692	2,107663491	196051,01	375,825	156,184
belokan	156,184		196051,01		3,842598458	3,842598458	0,2642612	35,348	35,387	0,2639699	1,692	1,692	44,62803463	195719,01	399,4631	155,976
29	155,976		195719,01		3,842598458	3,842598458	0,2639699	35,387	35,428	0,2636644	1,692	1,692	1,412319419	195488,48	249,557	155,76
belokan	155,76		195488,48		3,842598458	3,842598458	0,2636644	35,428	35,459	0,2634339	1,692	2,404	44,82003999	195199,61	398,4485	155,564
30	155,564		195199,61		3,842598458	3,842598458	0,2634339	35,459	35,587	0,2624864	2,404	6,404	5,686193911	194471,38	1092,822	154,839
belokan	154,839		194471,38		3,842598458	3,842598458	0,2624864	35,587	35,619	0,2622506	6,404	7,116	45,22433875	194178,19	396,213	154,645
31	154,645		194178,19		3,842598458	3,842598458	0,2622506	35,619	36,024	0,2593022	7,116	7,116	14,45539416	191954,61	2583,783	151,987
belokan	151,987		191954,61		3,842598458	3,842598458	0,2593022	36,024	36,062	0,259029	7,116	7,116	46,34905679	191634,21	389,251	151,772
32	151,772		191634,21		3,842598458	3,842598458	0,259029	36,062	36,143	0,2584485	7,116	7,116	2,936614589	191196,53	504,5663	151,318
belokan	151,318		191196,53		3,842598458	3,842598458	0,2584485	36,143	36,182	0,2581699	7,116	7,116	46,65690542	190871,92	387,6177	151,097
33	151,097		190871,92		3,842598458	3,842598458	0,2581699	36,182	36,984	0,2525715	7,116	7,116	30,15303507	186650,73	5548,669	145,738
belokan	145,738		186650,73		3,842598458	3,842598458	0,2525715	36,984	37,026	0,252285	7,116	6,404	48,85621904	186319,46	394,0289	145,505
34	145,505		186319,46		3,842598458	3,842598458	0,252285	37,026	37,117	0,2516665	6,404	4,404	3,096369041	185859,1	675,9576	144,973
belokan	144,973		185859,1		3,842598458	3,842598458	0,2516665	37,117	37,158	0,2513888	4,404	3,692	49,20671429	185534,05	392,1136	144,694
35	144,694		185534,05		3,842598458	3,842598458	0,2513888	37,158	38,014	0,245728	3,692	3,962	31,82911897	181271,56	5424,86	139,149
belokan	139,149		181271,56		3,842598458	3,842598458	0,245728	38,014	38,045	0,2455278	3,962	4,404	51,59887916	180997,57	398,0207	138,932
36	138,932		180997,57		3,842598458	3,842598458	0,2455278	38,045	38,176	0,2446852	4,404	9,404	8,180911614	180343,62	1673,194	138,407
belokan	138,407		180343,62		3,842598458	3,842598458	0,2446852	38,176	38,208	0,2444803	9,404	10,116	52,04078516	180065,76	386,1118	138,101
37	138,101		180065,76		3,842598458	3,842598458	0,2444803	38,208	39,217	0,2381902	10,116	10,116	42,20703538	175324,98	7149,812	130,722
belokan	130,722		175324,98		3,842598458	3,842598458	0,2381902	39,217	39,256	0,2379535	10,116	10,116	54,92620044	175022,22	387,3248	130,344
38	130,344		175022,22		3,842598458	3,842598458	0,2379535	39,256	39,673	0,2354524	10,116	10,116	17,5450905	173138,18	2314,965	124,205
belokan	124,205		173138,18		3,842598458	3,842598458	0,2354524	39,673	39,714	0,2352093	10,116	9,404	56,21313759	172830,98	391,4615	123,821
39	123,821		172830,98		3,842598458	3,842598458	0,2352093	39,714	39,927	0,2339546	9,404	4,404	8,931529255	171897,97	986,8053	120,747

Tabel 13. Saluran Turbin Cane Cutter

pipa	T ₁ (°C)	T _{ia} (°C)	p ₁ (N/m ²)	p _{ia} (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
canecutter									59.9577					219002.1		160
katup	160		219002.1		5.811598267	5.811598267	1.110836	59.957676	60.142	1.1074315	2.442	2.442	33.08241332	217959.24	341.7813	159.992
40	159.992		217959.24		5.811598267	5.811598267	1.1074315	60.142	60.211	1.1061624	2.442	2.442	8.303869392	217614.76	612.9484	159.971
belokan	159.971		217614.76		5.811598267	5.811598267	1.1061624	60.211	60.243	1.1055748	2.442	2.086	92.43862204	216498.34	416.246	159.964
41	159.964		216498.34		5.811598267	5.811598267	1.1055748	60.243	60.364	1.1033587	2.086	0.586	12.50843448	215937.16	939.3672	159.928
belokan	159.928		215937.16		5.811598267	5.811598267	1.1033587	60.364	60.397	1.1027559	0.586	0.23	92.91041744	214815.72	394.2918	159.919
42	159.919		214815.72		5.811598267	5.811598267	1.1027559	60.397	60.582	1.0993884	0.23	0.23	25.17143092	213875.96	998.5532	159.857
belokan	159.857		213875.96		5.811598267	5.811598267	1.0993884	60.582	60.609	1.0988986	0.23	0.23	93.5732574	212770.15	374.2515	159.852
43	159.852		212770.15		5.811598267	5.811598267	1.0988986	60.609	60.946	1.0928223	0.23	0.23	42.35281965	211117.21	1963.796	159.748
belokan	159.748		211117.21		5.811598267	5.811598267	1.0928223	60.946	60.972	1.0923562	0.23	0.586	94.69927831	210006.84	394.1879	159.743
44	159.743		210006.84		5.811598267	5.811598267	1.0923562	60.972	61.063	1.0907283	0.586	2.336	14.94078887	209509.22	702.1991	159.715
belokan	159.715		209509.22		5.811598267	5.811598267	1.0907283	61.063	61.092	1.0902106	2.336	2.692	95.06781361	208387.28	384.1681	159.708
45	159.708		208387.28		5.811598267	5.811598267	1.0902106	61.092	61.379	1.0851129	2.692	2.692	34.39483168	207027.69	1630.464	159.617
difuser	159.617		207027.69		5.811598267	5.811598267	1.0851129	61.379	20.306	1.1038731	2.692	2.692	680.0202832	211592.17	385.216	159.592
49	159.592		211592.17		5.811598267	5.811598267	1.1038731	20.306	20.321	1.1030583	2.692	2.692	3.110629185	211432.31	536.301	159.579
cabang	159.579	159.859	211432.31	214906	5.811598267	13.56039596	1.1030583	20.321	87.527	0.5975555	2.692	2.692	1283.801442	209981.61	858.6095	159.621
50	159.621		209981.61		13.56039596	13.56039596	0.5975555	87.527	87.718	0.5962544	2.692	2.692	61.28209299	209155.98	4875.283	158.164
belokan	158.164		209155.98		13.56039596	13.56039596	0.5962544	87.718	87.763	0.5959487	2.692	2.692	274.6624229	207440.63	872.1634	157.925
51	157.925		207440.63		13.56039596	13.56039596	0.5959487	87.763	88.152	0.5933189	2.692	2.692	123.5031569	205786.09	10897.78	154.746
belokan	154.746		205786.09		13.56039596	13.56039596	0.5933189	88.152	88.198	0.5930094	2.692	2.692	277.3894718	204062.66	868.6366	154.505
52	154.505		204062.66		13.56039596	13.56039596	0.5930094	88.198	88.476	0.5911461	2.692	2.692	103.8093212	202804.95	8227.37	151.752
belokan	151.752		202804.95		13.56039596	13.56039596	0.5911461	88.476	88.508	0.5909324	2.692	3.404	279.3875558	201106.21	871.813	151.531
53	151.531		201106.21		13.56039596	13.56039596	0.5909324	88.508	88.724	0.5894938	3.404	9.404	62.67965461	200208.16	4890.763	149.657
belokan	149.657		200208.16		13.56039596	13.56039596	0.5894938	88.724	88.757	0.5892746	9.404	10.116	280.9588908	198503.71	868.4227	149.431
54	149.431		198503.71		13.56039596	13.56039596	0.5892746	88.757	89.613	0.5836457	10.116	10.116	264.5298592	195048.43	22765.49	137.724
belokan	137.724		195048.43		13.56039596	13.56039596	0.5836457	89.613	89.656	0.5833658	10.116	10.116	286.6483442	193312.2	869.1145	137.478
55	137.478		193312.2		13.56039596	13.56039596	0.5833658	89.656	89.932	0.5815755	10.116	10.116	107.2619518	192092.56	8715.554	131.824
belokan	131.824		192092.56		13.56039596	13.56039596	0.5815755	89.932	89.979	0.5812717	10.116	9.404	288.7051165	190347.54	879.5722	131.573
56	131.573		190347.54		13.56039596	13.56039596	0.5812717	89.979	90.246	0.5795519	9.404	4.404	54.0121096	189491.79	4608.267	128.364

Tabel 14. Saluran Turbin Gilingan

pipa	T ₁ (°C)	T _{1a} (°C)	P ₁ (N/m ²)	P _{1a} (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	P ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
gilingan 5									31.5343					199388.81		140
57	140		199388.81		2.506604618	2.506604618	1.01469	31.534326	31.583	1.0131262	4.726	4.726	2.571038256	199054.41	216.4224	139.991
belokan	139.991		199054.41		2.506604618	2.506604618	1.0131262	31.583	31.622	1.0118767	4.726	4.421	25.45152921	198558.05	98.95837	139.986
58	139.986		198558.05		2.506604618	2.506604618	1.0118767	31.622	31.7324	1.0083563	4.421	2.421	5.180777281	197832.25	422.8103	139.964
belokan	139.964		197832.25		2.506604618	2.506604618	1.0083563	31.7324	31.771	1.0071312	2.421	2.116	25.69241725	197339.84	100.9465	139.957
katup	139.957		197339.84		2.506604618	2.506604618	1.0071312	31.771	31.887	1.0034674	2.421	2.116	9.294360009	196526.75	293.4196	139.935
59	139.935		196526.75		2.506604618	2.506604618	1.0034674	31.887	33.526	0.9544105	2.116	2.116	8.284394123	186790.33	619.0507	139.898
belokan	139.898		186790.33		2.506604618	2.506604618	0.9544105	33.526	33.564	0.9533299	2.116	2.116	28.67652969	186309.45	101.9166	139.892
60	139.892		186309.45		2.506604618	2.506604618	0.9533299	33.564	36.873	0.8677776	2.116	2.116	24.01454303	169284.39	1627.025	139.771
difuser	139.771		169284.39		2.506604618	2.506604618	0.8677776	36.873	17.761	0.9782318	2.116	2.116	19.76097847	191152.67	103.16	139.754
cabang	139.754	139.898	191152.67	186790.3	2.506604618	5.013209236	0.9782318	17.761	71.548	0.4856705	2.116	2.116	528.4298958	186553.86	285.9681	139.763
64	139.763		186553.86		5.013209236	5.013209236	0.4856705	71.548	75.246	0.461802	2.116	2.116	76.85734496	176912.06	2040.92	139.537
cabang	139.537	139.898	176912.06	186790.3	5.013209236	7.519813854	0.461802	75.246	165.963	0.3140647	2.116	2.116	558.7863078	176807.05	395.7392	139.552
68	139.552		176807.05		7.519813854	7.519813854	0.3140647	165.963	168.836	0.3087205	2.116	2.116	399.7947368	172439.14	3034.684	137.968
difuser	137.968		172439.14		7.519813854	7.519813854	0.3087205	168.836	83.734	0.3463803	2.116	2.116	407.3389098	195812.91	285.2563	137.947
cabang	137.947	139.898	195812.91	186790.3	7.519813854	10.02641847	0.3463803	83.734	155.757	0.2482826	2.116	2.116	277.3403056	186277.04	494.0339	137.967
72	137.967		186277.04		10.02641847	10.02641847	0.2482826	155.757	158.372	0.244183	2.116	2.116	262.5409897	182472.08	4313.615	135.846
difuser	135.846		182472.08		10.02641847	10.02641847	0.244183	158.372	92.792	0.2626688	2.116	2.116	252.8140796	197797.9	320.6081	135.823
cabang	135.823	139.898	197797.9	186790.3	10.02641847	12.53302309	0.2626688	92.792	153.534	0.1984378	2.116	2.116	107.4780093	186688.65	444.536	135.642
76	135.642		186688.65		12.53302309	12.53302309	0.1984378	153.534	153.837	0.198047	2.116	2.116	53.21550496	186208.33	1522.572	135.134
belokan	135.134		186208.33		12.53302309	12.53302309	0.198047	153.837	154.013	0.1978207	2.116	1.404	845.312637	184351.13	652.1388	134.863
77	134.863		184351.13		12.53302309	12.53302309	0.1978207	154.013	154.134	0.1976654	1.404	0.904	13.37113593	184177.76	405.0312	134.727
belokan	134.727		184177.76		12.53302309	12.53302309	0.1976654	154.134	154.302	0.1974502	0.904	0.192	848.5338464	182329.9	651.1402	134.462
78	134.462		182329.9		12.53302309	12.53302309	0.1974502	154.302	157.247	0.1937522	0.192	0.192	601.3922341	177683.18	17485.61	129.147
belokan	129.147		177683.18		12.53302309	12.53302309	0.1937522	157.247	157.404	0.193559	0.192	0.904	883.0743662	175823.03	637.401	128.926
79	128.926		175823.03		12.53302309	12.53302309	0.193559	157.404	158.342	0.1924123	0.904	9.904	238.65858	174285.51	6567.081	127.158
belokan	127.158		174285.51		12.53302309	12.53302309	0.1924123	158.342	158.495	0.1922266	9.404	10.116	895.3870948	172422.79	642.4794	126.933
80	126.933		172422.79		12.53302309	12.53302309	0.1922266	158.495	161.647	0.1884783	10.116	10.116	721.618615	167631.32	19684.73	120.682
belokan	120.682		167631.32		12.53302309	12.53302309	0.1884783	161.647	161.808	0.1882908	10.116	10.116	933.1829245	165735.91	656.445	120.436
81	120.436		165735.91		12.53302309	12.53302309	0.1882908	161.808	163.037	0.1868714	10.116	10.116	297.1904056	163904.45	7736.593	117.749
belokan	117.749		163904.45		12.53302309	12.53302309	0.1868714	163.037	163.234	0.1866459	10.116	9.404	949.5022402	161963.41	649.133	117.453
82	117.453		161963.41		12.53302309	12.53302309	0.1866459	163.234	164.374	0.1853514	9.904	4.404	151.1337342	160540.72	3866.139	116.437

Tabel 15. Saluran Turbin PLTU

pipa	T ₁ (°C)	T _{1a} (°C)	p ₁ (N/m ²)	p _{1a} (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
PLTU 1									71.8429					199388.81		140
83	140		199388.81		18.90033643	18.90033643	1.01469	71.842941	71.852	1.0145621	1.777	1.277	3.548007006	199332.67	412.3795	139.916
katup	139.916		199332.67		18.90033643	18.90033643	1.0145621	71.852	71.987	1.0126594	1.277	0.921	47.45334386	198481.15	549.4732	139.902
belokan	139.902		198481.15		18.90033643	18.90033643	1.0126594	71.987	72.016	1.0122516	0.921	0.616	132.1155964	197090.21	672.9192	139.753
84	139.753		197090.21		18.90033643	18.90033643	1.0122516	72.016	72.078	1.0113809	0.616	0.616	14.27096356	196774.56	1360.351	139.472
belokan	139.472		196774.56		18.90033643	18.90033643	1.0113809	72.078	72.102	1.0110443	0.616	0.616	132.4405734	195393.73	672.2359	139.338
85	139.338		195393.73		18.90033643	18.90033643	1.0110443	72.102	72.161	1.0102176	0.616	0.616	14.30445846	195087.91	1358.945	139.054
belokan	139.054		195087.91		18.90033643	18.90033643	1.0102176	72.161	72.184	1.0098957	0.616	0.616	132.7438776	193708.97	671.5623	138.923
86	138.923		193708.97		18.90033643	18.90033643	1.0098957	72.184	72.213	1.0094902	0.616	0.616	7.165522227	193558.1	778.8876	138.776
belokan	138.776		193558.1		18.90033643	18.90033643	1.0094902	72.213	72.238	1.0091408	0.616	0.616	132.9389106	192173.24	671.1105	138.642
87	138.642		192173.24		18.90033643	18.90033643	1.0091408	72.238	72.295	1.0083452	0.616	0.616	14.35805249	191875.54	1356.588	138.354
belokan	138.354		191875.54		18.90033643	18.90033643	1.0083452	72.295	72.322	1.0079687	0.616	0.921	133.2446272	190481.38	670.4345	138.228
88	138.228		190481.38		18.90033643	18.90033643	1.0079687	72.322	72.615	1.0039016	0.921	10.921	72.192161	188882.03	7867.113	136.894
belokan	136.894		188882.03		18.90033643	18.90033643	1.0039016	72.615	72.639	1.0035699	10.921	11.226	134.4210278	187491.49	668.071	136.767
89	136.767		187491.49		18.90033643	18.90033643	1.0035699	72.639	72.667	1.0031832	11.226	11.226	7.256022186	187345.8	675.2484	136.623
belokan	136.623		187345.8		18.90033643	18.90033643	1.0031832	72.667	72.692	1.0028382	11.226	11.226	134.6154363	185955.22	667.6257	136.487
90	136.487		185955.22		18.90033643	18.90033643	1.0028382	72.692	72.927	0.9996066	11.226	11.226	51.01121118	184838.67	4758.248	135.462
102	135.462		184838.67		18.90033643	18.90033643	0.9996066	72.927	72.985	0.9988123	11.226	11.226	11.32903897	184576.55	1059.474	135.226
belokan	135.226		184576.55		18.90033643	18.90033643	0.2219583	72.985	73.027	0.9982378	11.226	10.921	135.8276258	183140.2	665.3517	135.074
103	135.074		183140.2		18.90033643	18.90033643	0.2218306	73.027	73.062	0.9977596	10.921	10.421	3.78551375	183017.76	324.0161	134.987
belokan	134.987		183017.76		18.90033643	18.90033643	0.2217244	73.062	73.103	0.9972	10.421	10.116	136.1124314	181583.58	664.9627	134.832
104	134.832		181583.58		18.90033643	18.90033643	0.2216	73.103	73.268	0.9949543	10.116	10.116	30.40113951	180865.91	2442.993	134.201
difuser	134.201		180865.91		18.90033643	18.90033643	0.9949543	73.268	43.135	1.0651553	10.116	10.116	28.11663844	195201.51	219.8732	134.146
cabang	134.146	139.613	195201.51	193221.9	18.90033643	23.10041119	1.0651553	43.135	107.972	0.5200939	10.116	10.116	216.048486	192768.77	743.4745	134.239
110	134.239		192768.77		23.10041119	23.10041119	0.5200939	107.972	109.586	0.5124339	10.116	10.116	99.97554734	189337.09	8657.519	132.067
belokan	132.067		189337.09		23.10041119	23.10041119	0.5124339	109.586	109.628	0.5122375	10.116	10.116	428.6231455	187108.35	1045.326	131.773
111	131.773		187108.35		23.10041119	23.10041119	0.5122375	109.628	110.217	0.5095001	10.116	10.116	38.28319084	185884.1	3309.802	130.642
belokan	130.642		185884.1		23.10041119	23.10041119	0.5095001	110.217	110.258	0.5093107	10.116	10.116	433.5685262	183646.42	1041.786	130.343
112	130.343		183646.42		23.10041119	23.10041119	0.5093107	110.258	114.753	0.4893604	10.116	10.116	401.0351527	174280.1	32726.12	120.092
belokan	120.092		174280.1		23.10041119	23.10041119	0.4893604	114.753	114.791	0.4891984	10.116	9.404	469.9708659	171968.28	1055.588	119.765
113	119.765		171968.28		23.10041119	23.10041119	0.4891984	114.791	116.174	0.4833747	9.404	4.404	70.42324581	169533.64	5588.143	117.874

Tabel 16. Saluran *Evaporator*

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
header							94.587					197030.8		126.146
114	126.146	197030.75	38.755833	38.7558333	0.99604468	94.587	94.786	0.99395351	4.404	9.404	417.3434	196088	7224.107	124.905
belokan	124.905	196087.98	38.755833	38.7558333	0.99395351	94.786	94.797	0.99383818	9.404	10.116	674.7837	193378.2	1828.04	124.713
115	124.713	193378.23	38.755833	38.7558333	0.99383818	94.797	94.971	0.99201733	10.116	10.116	369.0165	192822.5	3379.182	124.187
belokan	124.187	192822.49	38.755833	38.7558333	0.99201733	94.971	94.985	0.99187111	9.404	10.116	675.8661	190101.6	1826.245	123.985
116	123.985	190101.58	38.755833	38.7558333	0.99187111	94.985	95.694	0.98452231	10.116	10.116	876.7979	187884.8	15452.75	122.023
belokan	122.023	187884.83	38.755833	38.7558333	0.98452231	95.694	95.712	0.98433715	9.404	9.404	680.0937	185143.1	1812.85	121.805
117	121.805	185143.12	38.755833	38.7558333	0.98433715	95.712	96.158	0.9797716	9.404	5.404	338.8801	183907.2	5982.193	120.783
belokan	120.783	183907.22	38.755833	38.7558333	0.9797716	96.158	96.177	0.97957805	5.404	4.692	682.8192	181158.1	1787.756	120.554
katup	120.554	181158.14	38.755833	38.7558333	0.97957805	96.177	96.296	0.97836751	4.692	4.692	761.3655	180334.1	778.1772	120.512
118	120.512	180334.09	38.755833	38.7558333	0.97836751	96.296	96.48478	0.9764533	4.692	4.692	319.6251	179775.5	3461.794	120

Tabel 17. Saluran Masakan

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
header							40.176					180440.9		125.413
119	125.413	180440.88	16.111111	16.1111111	0.97483696	40.176	40.321	0.97133131	4.404	10.404	392.2651	179631.3	5115.812	123.528
belokan	123.528	179631.33	16.111111	16.1111111	0.97133131	40.321	40.329	0.97113863	10.404	11.116	183.728	179114.8	1023.916	123.364
120	123.364	179114.85	16.111111	16.1111111	0.97113863	40.329	40.901	0.95755727	11.116	11.116	629.6166	176309.5	9167.729	120.318
belokan	120.318	176309.48	16.111111	16.1111111	0.95755727	40.901	40.918	0.95715943	11.116	10.404	185.18	175761.7	1015.948	120.137
121	120.137	175761.68	16.111111	16.1111111	0.95715943	40.918	40.996	0.95533832	10.404	7.404	195.3149	175402.5	2538.753	119.719
belokan	119.719	175402.52	16.111111	16.1111111	0.95533832	40.996	41.012	0.95496561	7.404	6.692	182.4168	174858.5	1014.46	119.534
122	119.534	174858.45	16.111111	16.1111111	0.95496561	41.012	41.743	0.93824233	6.692	6.692	1075.205	171351.9	16367.62	115.598
belokan	115.598	171351.9	16.111111	16.1111111	0.93824233	41.743	41.758	0.93790531	6.692	5.971	186.3059	170805.9	1014.46	115.404
katup	115.404	170805.93	16.111111	16.1111111	0.93790531	41.758	41.846	0.93593294	5.971	5.412	201.5781	170342.1	619.806	115.373
123	115.373	170342.12	16.111111	16.1111111	0.93593294	41.846	41.93402	0.9339685	5.412	2.12	164.6331	169968.9	2224.469	115

Tabel 18. Saluran Turbin *FDF*

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
FDF							23,80354					219002,1		160
10	160	219002,11	0,8528421	0,8528421	1,110836	23,80354	23,812	1,11044129	1	1	0,605722	218917,5	21,98723	159,999
belokan	159,999	218917,47	0,8528421	0,8528421	1,11044129	23,812	23,821	1,11002174	1	1,203	14,45529	218674,9	28,01373	159,998
katup	159,998	218674,9	0,8528421	0,8528421	1,11002174	23,821	23,875	1,10751112	1,203	1,495	5,797422	218112,7	275,082	159,994
11	159,994	218112,72	0,8528421	0,8528421	1,10751112	23,875	23,971	1,10307571	1,495	3,895	5,87136	217147,2	211,0718	159,991
belokan	159,991	217147,17	0,8528421	0,8528421	1,10307571	23,971	23,982	1,10256976	3,895	4,098	14,65017	216886,6	28,01271	159,989
12	159,989	216886,63	0,8528421	0,8528421	1,10256976	23,982	24,028	1,10045896	4,098	4,098	2,4632	216443,6	87,94341	159,987
belokan	159,987	216443,61	0,8528421	0,8528421	1,10045896	24,028	24,042	1,09981815	4,098	3,895	14,72174	216160,6	28,0118	159,985
13	159,985	216160,55	0,8528421	0,8528421	1,09981815	24,042	24,146	1,09508109	3,895	1,895	4,962997	215194,9	175,8805	159,981

Tabel 19. Saluran Turbin *FWP. Yoshimine*

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
FWP.YOSH							16,91617					219002,1		140
20	140	219002,1	0,62991861	0,62991861	1,15453	16,91617	16,926	1,1544666	0,218	0,218	0,287981	218871,5	18,44979	139,998
belokan	139,998	218871,5	0,62991861	0,62991861	1,1544666	16,926	16,943	1,15454167	0,218	0,421	7,30829	218566,6	23,52033	139,997
katup	139,997	218566,6	0,62991861	0,62991861	1,15454167	16,943	16,992	1,14991915	0,421	0,713	2,93472	217899	223,4715	139,994
21	139,994	217899	0,62991861	0,62991861	1,14991915	16,992	17,005	1,14989884	0,713	1,463	0,871866	217713,9	55,34931	139,991

Tabel 20. Saluran Turbin *FWP. Stork*

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
FWP.STORK							11,84132					219002,1		140
25	140	219002,1	0,44094303	0,44094303	1,15453	11,84132	11,847	1,15445392	0,286	0,286	0,141096	218895,4	18,34488	139,999
katup	139,999	218895,4	0,44094303	0,44094303	1,15445392	11,847	11,889	1,15106162	0,286	0,286	1,435774	218105,4	212,1421	139,997
belokan	139,997	218105,4	0,44094303	0,44094303	1,15106162	11,889	11,912	1,15115854	0,286	0,489	3,609121	217641	23,38616	139,996
26	139,996	217641	0,44094303	0,44094303	1,15115854	11,912	11,934	1,15106162	0,489	1,489	0,571924	217221,8	73,37653	139,994
belokan	139,994	217221,8	0,44094303	0,44094303	1,15106162	11,934	11,956	1,15115854	1,489	1,692	3,636163	216778,8	23,38568	139,993
27	139,993	216778,8	0,44094303	0,44094303	1,15115854	11,956	12,133	1,14951306	1,692	1,692	4,085477	213568,8	513,556	139,962

Tabel 21. Saluran Turbin *Unigrator*

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
UNIG							61,384					219002,1		160
katup	160	219002,1	7,74879769	7,74879769	1,10779533	61,384	61,384	1,10779533	0,474	0,474	32,55897	218037,4	648,3783	159,987
46	159,987	218037,4	7,74879769	7,74879769	1,10779533	61,384	61,425	1,1070559	0,474	0,474	8,070425	217801,4	749,3869	159,958
belokan	159,958	217801,4	7,74879769	7,74879769	1,1070559	61,425	61,455	1,10651547	0,474	0,88	96,19963	216644,4	421,2082	159,946
47	159,946	216644,4	7,74879769	7,74879769	1,10651547	61,455	61,507	1,10557999	0,88	1,88	12,13582	216315,2	1024,002	159,904
belokan	159,904	216315,2	7,74879769	7,74879769	1,10557999	61,507	61,539	1,10500509	1,88	2,286	96,45972	215150,6	425,1696	159,891
48	159,891	215150,6	7,74879769	7,74879769	1,10500509	61,539	61,583	1,10421558	2,286	2,286	8,111615	214906	749,2793	159,859

Tabel 22. Saluran Turbin *Gilangan 4*

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
gilangan 4							31,53433					199388,8		140
61	140	199388,8	2,50660462	2,50660462	1,01469	31,53433	31,583	1,0131262	4,726	4,726	2,571038	199054,4	216,4224	139,991
belokan	139,991	199054,4	2,50660462	2,50660462	1,0131262	31,583	31,622	1,01187669	4,726	4,421	25,45153	198558	98,95837	139,986
62	139,986	198558	2,50660462	2,50660462	1,01187669	31,622	31,7324	1,00835628	4,421	2,421	5,180777	197832,3	422,8103	139,964
belokan	139,964	197832,3	2,50660462	2,50660462	1,00835628	31,7324	31,771	1,00713118	2,421	2,116	25,69242	197339,8	100,9465	139,957
katup	139,957	197339,8	2,50660462	2,50660462	1,00713118	31,771	31,887	1,00346739	2,421	2,116	9,29436	196526,7	293,4196	139,935
63	139,935	196526,7	2,50660462	2,50660462	1,00346739	31,887	33,526	0,95441045	2,116	2,116	8,284394	186790,3	619,0507	139,898

Tabel 23. Saluran Turbin Gilingan 3

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
gilingan 3							31,53433					199388,8		140
65	140	199388,8	2,50660462	2,50660462	1,01469	31,53433	31,583	1,0131262	4,726	4,726	2,571038	199054,4	216,4224	139,991
belokan	139,991	199054,4	2,50660462	2,50660462	1,0131262	31,583	31,622	1,01187669	4,726	4,421	25,45153	198558	98,95837	139,986
66	139,986	198558	2,50660462	2,50660462	1,01187669	31,622	31,7324	1,00835628	4,421	2,421	5,180777	197832,3	422,8103	139,964
belokan	139,964	197832,3	2,50660462	2,50660462	1,00835628	31,7324	31,771	1,00713118	2,421	2,116	25,69242	197339,8	100,9465	139,957
katup	139,957	197339,8	2,50660462	2,50660462	1,00713118	31,771	31,887	1,00346739	2,421	2,116	9,29436	196526,7	293,4196	139,935
67	139,935	196526,7	2,50660462	2,50660462	1,00346739	31,887	33,526	0,95441045	2,116	2,116	8,284394	186790,3	619,0507	139,898

Tabel 24. Saluran Turbin Gilingan 2

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
gilingan 2							31,53433					199388,8		140
69	140	199388,8	2,50660462	2,50660462	1,01469	31,53433	31,583	1,0131262	4,726	4,726	2,571038	199054,4	216,4224	139,991
belokan	139,991	199054,4	2,50660462	2,50660462	1,0131262	31,583	31,622	1,01187669	4,726	4,421	25,45153	198558	98,95837	139,986
70	139,986	198558	2,50660462	2,50660462	1,01187669	31,622	31,7324	1,00835628	4,421	2,421	5,180777	197832,3	422,8103	139,964
belokan	139,964	197832,3	2,50660462	2,50660462	1,00835628	31,7324	31,771	1,00713118	2,421	2,116	25,69242	197339,8	100,9465	139,957
katup	139,957	197339,8	2,50660462	2,50660462	1,00713118	31,771	31,887	1,00346739	2,421	2,116	9,29436	196526,7	293,4196	139,935
71	139,935	196526,7	2,50660462	2,50660462	1,00346739	31,887	33,526	0,95441045	2,116	2,116	8,284394	186790,3	619,0507	139,898

Tabel 25. Saluran Turbin Gilingan 1

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
gilingan 1							31,53433					199388,8		140
73	140	199388,8	2,50660462	2,50660462	1,01469	31,53433	31,583	1,0131262	4,726	4,726	2,571038	199054,4	216,4224	139,991
belokan	139,991	199054,4	2,50660462	2,50660462	1,0131262	31,583	31,622	1,01187669	4,726	4,421	25,45153	198558	98,95837	139,986
74	139,986	198558	2,50660462	2,50660462	1,01187669	31,622	31,7324	1,00835628	4,421	2,421	5,180777	197832,3	422,8103	139,964
belokan	139,964	197832,3	2,50660462	2,50660462	1,00835628	31,7324	31,771	1,00713118	2,421	2,116	25,69242	197339,8	100,9465	139,957
katup	139,957	197339,8	2,50660462	2,50660462	1,00713118	31,771	31,887	1,00346739	2,421	2,116	9,29436	196526,7	293,4196	139,935
75	139,935	196526,7	2,50660462	2,50660462	1,00346739	31,887	33,526	0,95441045	2,116	2,116	8,284394	186790,3	619,0507	139,898

Tabel 26. Saluran Turbin PLTU 3

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
PLTU 3							47,43761					199388,8		140
105	140	199388,8	4,20007476	4,20007476	1,01469	47,43761	47,462	1,01416855	1,641	1,141	2,753558	199262,7	126,9474	139,987
katup	139,987	199262,7	4,20007476	4,20007476	1,01416855	47,462	47,584	1,01156834	1,141	0,76	32,71959	198543,9	212,595	139,976
belokan	139,976	198543,9	4,20007476	4,20007476	1,01156834	47,584	47,617	1,01086729	0,76	0,404	57,74229	197835,7	262,5259	139,962
106	139,962	197835,7	4,20007476	4,20007476	1,01086729	47,617	47,636	1,0104641	0,404	0,404	2,774104	197728,3	255,9282	139,951
belokan	139,951	197728,3	4,20007476	4,20007476	1,0104641	47,636	47,665	1,00984932	0,404	0,404	57,86366	197033,4	262,512	139,939
107	139,939	197033,4	4,20007476	4,20007476	1,00984932	47,665	47,762	1,00779841	0,404	0,404	16,70549	196463,4	1335,404	139,868
belokan	139,868	196463,4	4,20007476	4,20007476	1,00779841	47,762	47,786	1,00729225	0,404	0,76	58,16399	195785,3	262,4646	139,859
108	139,859	195785,3	4,20007476	4,20007476	1,00729225	47,786	48,048	1,00179961	0,76	9,76	50,54488	194120	3604,825	139,653
belokan	139,653	194120	4,20007476	4,20007476	1,00179961	48,048	48,073	1,00127863	9,76	10,116	58,8637	193436,1	662,3385	139,642
109	139,642	193436,1	4,20007476	4,20007476	1,00127863	48,073	48,112	1,00046699	10,116	10,116	5,657311	193221,9	411,5132	139,613

Tabel 27. Modifikasi Saluran Turbin IDF

Pipa	T ₁ (°C)	T _{1a} (°C)	p ₁ (N/m ²)	p _{1a} (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
IDF									53,55796					219002,1		160
1	160		219002,1		1,91889472	1,91889472	1,110836	53,55796	53,572	1,1105449	1	1	2,885819	218912,4	19,29794	159,998
belokan	159,998		218912,4		1,91889472	1,91889472	1,1105449	53,572	53,586	1,1102548	1	1,203	73,15773	218055,4	24,60144	159,996
katup	159,996		218055,4		1,91889472	1,91889472	1,1102548	53,586	53,645	1,1090337	1,203	1,495	29,30297	217490,1	292,3594	159,992
2	159,992		217490,1		1,91889472	1,91889472	1,1090337	53,645	53,761	1,1066407	1,495	3,895	27,84682	216685,6	185,2453	159,985
belokan	159,985		216685,6		1,91889472	1,91889472	1,1066407	53,761	53,774	1,1063732	3,895	4,098	73,6734	215830,6	24,59896	159,983
3	159,983		215830,6		1,91889472	1,91889472	1,1063732	53,774	53,832	1,1051812	4,098	4,098	11,64609	215468,3	77,18088	159,978
belokan	159,978		215468,3		1,91889472	1,91889472	1,1051812	53,832	53,851	1,1047912	4,098	3,895	73,87633	214592,7	24,59768	159,976
4	159,976		214592,7		1,91889472	1,91889472	1,1047912	53,851	53,973	1,102294	3,895	1,895	23,38666	213869,1	154,3506	159,966
belokan	159,966		213869,1		1,91889472	1,91889472	1,102294	53,973	53,993	1,1018857	1,895	1,692	74,26514	212988,1	24,59533	159,963
5	159,963		212988,1		1,91889472	1,91889472	1,1018857	53,993	54,271	1,0962413	1,692	1,692	58,94478	211246,7	385,8291	159,947
7	159,947		211246,7		1,91889472	1,91889472	1,0962413	54,271	54,328	1,0950912	1,692	1,692	11,86203	210894,3	77,15995	159,943

9	159,943		210894,3		1,91889472	1,91889472	1,0950912	54,328	54,443	1,092778	1,692	1,692	23,79926	210186,8	154,3141	159,937
cabang	159,937	159,987	210186,8	214747,8	1,91889472	2,77173681	1,092778	54,443	157,984	0,5439534	1,692	1,692	417,6102	203475,1	254,9167	159,941
difuser	159,941		203475,1		2,77173681	2,77173681	0,5439534	157,984	62,493	0,7661763	1,692	1,692	496,7386	214989	88,97075	159,91
14	159,91		214989		2,77173681	2,77173681	0,5661763	62,493	62,629	0,7649469	1,692	1,692	30,31098	214349,3	328,1972	159,895
belokan	159,895		214349,3		2,77173681	2,77173681	0,5649469	62,629	62,654	0,7647214	1,692	1,692	99,99892	213708,9	92,38194	159,891
15	159,891		213708,9		2,77173681	2,77173681	0,5647214	62,654	62,841	0,763041	1,692	1,692	35,57396	212869,9	492,8343	159,872
17	159,872		212869,9		2,77173681	2,77173681	0,563041	62,841	62,899	0,7625218	1,692	1,692	10,20371	212615,2	209,3704	159,865
19	159,865		212615,2		2,77173681	2,77173681	0,5625218	62,899	63,008	0,7615486	1,692	1,692	20,46167	212130,9	218,7208	159,848
cabang	159,848	139,994	212130,9	217598,5	2,77173681	3,40165543	0,5615486	63,008	117,834	0,5685113	1,692	1,692	277,5258	206293,8	861,4371	159,752
22	159,752		206293,8		3,40165543	3,40165543	0,3685113	117,834	119,559	0,5631944	1,692	1,692	218,2219	202465,5	655,2922	159,348
difuser	159,348		202465,5		3,40165543	3,40165543	0,3631944	119,559	21,783	0,5796171	1,692	1,692	337,8592	212985,4	210,3921	159,274
23	159,274		212985,4		3,40165543	3,40165543	0,3796171	21,783	21,975	0,5763004	1,692	1,692	1,617777	211117	759,6037	159,162
belokan	159,162		211117		3,40165543	3,40165543	0,3763004	21,975	22,019	0,5755484	1,692	1,692	17,26338	210631,1	273,2287	159,125
24	159,125		210631,1		3,40165543	3,40165543	0,3755484	22,019	23,126	0,5575716	1,692	1,692	11,47973	200499,4	5358,566	157,048
cabang	157,048	139,978	200499,4	213128,9	3,40165543	3,84259846	0,3575716	23,126	35,308	0,4645605	1,692	1,692	25,39097	198354,3	916,3396	156,962
28	156,962		198354,3		3,84259846	3,84259846	0,2645605	35,308	35,375	0,4640595	1,692	1,692	2,110589	197972,5	324,2391	156,556
belokan	156,556		197972,5		3,84259846	3,84259846	0,2640595	35,375	35,416	0,4637538	1,692	1,692	44,69873	197627,3	298,317	156,365
29	156,365		197627,3		3,84259846	3,84259846	0,2637538	35,416	35,461	0,4634191	1,692	1,692	1,414794	197372,4	215,3131	156,182
belokan	156,182		197372,4		3,84259846	3,84259846	0,2634191	35,461	35,496	0,4631593	1,692	2,404	44,9086	197059,7	297,5417	155,996
30	155,996		197059,7		3,84259846	3,84259846	0,2631593	35,496	35,627	0,4621917	2,404	6,404	5,698526	196308,9	857,0358	155,342
belokan	155,342		196308,9		3,84259846	3,84259846	0,2621917	35,627	35,661	0,4619417	6,404	7,116	45,32856	196003,1	255,7893	155,159
31	155,159		196003,1		3,84259846	3,84259846	0,2619417	35,661	36,124	0,4585844	7,116	7,116	14,51275	193449,9	2111,456	152,612
belokan	152,612		193449,9		3,84259846	3,84259846	0,2585844	36,124	36,165	0,4582913	7,116	7,116	46,61047	193112,1	290,0687	152,419
32	152,419		193112,1		3,84259846	3,84259846	0,2582913	36,165	36,263	0,4575932	7,116	7,116	2,954782	192581,8	416,4673	152,016
belokan	152,016		192581,8		3,84259846	3,84259846	0,2575932	36,263	36,304	0,4573023	7,116	7,116	46,96966	192245,4	298,8173	151,817
33	151,817		192245,4		3,84259846	3,84259846	0,2573023	36,304	37,242	0,4508218	7,116	7,116	30,46706	187319,7	4762,799	146,783
35	146,783		187319,7		3,84259846	3,84259846	0,2508218	37,242	38,164	0,4447622	7,116	7,116	32,02759	182708,9	4885,283	141,654
belokan	141,654		182708,9		3,84259846	3,84259846	0,2447622	38,164	38,201	0,4445251	7,116	7,828	52,0149	182405,1	297,1557	141,472
36	141,472		182405,1		3,84259846	3,84259846	0,2445251	38,201	38,238	0,4442885	7,828	9,404	2,593395	182218,3	1098,347	141,287
belokan	141,287		182218,3		3,84259846	3,84259846	0,2442885	38,238	38,274	0,4440587	9,404	10,116	52,21535	181919,8	296,3833	141,099
37	141,099		181919,8		3,84259846	3,84259846	0,2440587	38,274	39,386	0,4371681	10,116	10,116	42,46364	176674,6	6468,912	134,158
belokan	134,158		176674,6		3,84259846	3,84259846	0,2371681	39,386	39,428	0,4369155	10,116	10,116	55,4046	176357,2	291,462	133,964
38	133,964		176357,2		3,84259846	3,84259846	0,2369155	39,428	39,923	0,433978	10,116	10,116	17,7332	174125,3	1838,595	131,105
belokan	131,105		174125,3		3,84259846	3,84259846	0,233978	39,923	39,966	0,4337263	10,116	9,404	56,92631	173808,7	295,0545	130,891
39	130,891		173808,7		3,84259846	3,84259846	0,2337263	39,966	40,358	0,4314561	9,404	4,404	9,085379	172107,5	845,2121	128,661

Tabel 28. Modifikasi Saluran Turbin *Cane Cutter*

Pipa	T ₁ (°C)	T _{1a} (°C)	p ₁ (N/m ²)	p _{1a} (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
cane cutter									59,95768					219002,1		160
katup	160		219002,1		5,81159827	5,81159827	1,110836	59,95768	60,154	1,1072106	2,442	2,442	33,08902	217993,9	273,7856	159,989
40	159,989		217993,9		5,81159827	5,81159827	1,1072106	60,154	60,229	1,1058318	2,442	2,442	8,30801	217548,4	535,0037	159,975
belokan	159,975		217548,4		5,81159827	5,81159827	1,1058318	60,229	60,267	1,1051346	2,442	2,086	92,5031	216409,7	364,2853	159,97
41	159,97		216409,7		5,81159827	5,81159827	1,1051346	60,267	60,398	1,1027376	2,086	0,586	12,52047	215812,4	872,4665	159,941
belokan	159,941		215812,4		5,81159827	5,81159827	1,1027376	60,398	60,435	1,1020625	0,586	0,23	93,02124	214676	354,2677	159,934
42	159,934		214676		5,81159827	5,81159827	1,1020625	60,435	60,636	1,0984093	0,23	0,23	25,20973	213679,3	844,8033	159,881
belokan	159,881		213679,3		5,81159827	5,81159827	1,0984093	60,636	60,665	1,0978842	0,23	0,23	93,7432	212565,6	354,2382	159,877
43	159,877		212565,6		5,81159827	5,81159827	1,0978842	60,665	61,013	1,0916222	0,23	0,23	42,43858	210875,6	1574,327	159,785
belokan	159,785		210875,6		5,81159827	5,81159827	1,0916222	61,013	61,041	1,0911215	0,23	0,586	94,91067	209757,3	354,1897	159,781
44	159,781		209757,3		5,81159827	5,81159827	1,0911215	61,041	61,141	1,0893369	0,586	2,336	14,97681	209228,8	610,9205	159,762
belokan	159,762		209228,8		5,81159827	5,81159827	1,0893369	61,141	61,172	1,0887848	2,336	2,692	95,3139	208098,9	354,1777	159,756
45	159,756		208098,9		5,81159827	5,81159827	1,0887848	61,172	61,481	1,0833127	2,692	2,692	34,49713	206665,9	459,0432	159,674
difuser	159,674		206665,9		5,81159827	5,81159827	1,0833127	61,481	20,642	1,0859048	2,692	2,692	80,28646	208126,1	351,4664	159,653
49	159,653		208126,1		5,81159827	5,81159827	1,0859048	20,642	20,844	1,0753813	2,692	2,692	0,324356	206101,2	491,4571	159,642
cabang	159,642	159,889	206101,2	214725,6	5,81159827	13,560396	1,0753813	20,844	88,577	0,5904721	2,692	2,692	3435,19	207130,9	769,1931	159,651
50	159,651		207130,9		13,560396	13,560396	0,5904721	88,577	88,782	0,5891086	2,692	2,692	62,76952	206279,1	3496,052	158,264
belokan	158,264		206279,1		13,560396	13,560396	0,5891086	88,782	88,831	0,5887837	2,692	2,692	281,377	204537,6	783,8773	158,047
51	158,047		204537,6		13,560396	13,560396	0,5887837	88,831	89,252	0,5860064	2,692	2,692	126,5661	202823,2	9150,587	155,096
belokan	155,096		202823,2		13,560396	13,560396	0,5860064	89,252	89,302	0,5856783	2,692	2,692	284,3664	201073,2	779,4745	154,876
52	154,876		201073,2		13,560396	13,560396	0,5856783	89,302	89,594	0,5837695	2,692	2,692	106,4369	199793,1	7652,896	152,852
belokan	152,852		199793,1		13,560396	13,560396	0,5837695	89,594	89,632	0,583522	2,692	3,404	286,5108	198062,2	776,3707	152,651
53	152,651		198062,2		13,560396	13,560396	0,583522	89,632	89,904	0,5817566	3,404	9,404	64,31991	197047,5	3935,343	151,308
belokan	151,308		197047,5		13,560396	13,560396	0,5817566	89,904	89,943	0,5815043	9,404	10,116	288,4998	195310,2	774,2186	151,096
54	151,096		195310,2		13,560396	13,560396	0,5815043	89,943	90,974	0,5749142	10,116	10,116	272,1384	191508,3	22130,86	142,764
belokan	142,764		191508,3		13,560396	13,560396	0,5749142	90,974	91,022	0,574611	10,116	10,116	295,4355	189739,4	772,3413	142,541
55	142,541		189739,4		13,560396	13,560396	0,574611	91,022	91,321	0,5727296	10,116	10,116	110,5781	188481,3	7553,279	137,657
belokan	137,657		188481,3		13,560396	13,560396	0,5727296	91,321	91,374	0,5723974	10,116	9,404	297,7093	186701,5	775,2334	137,415
56	137,415		186701,5		13,560396	13,560396	0,5723974	91,374	91,657	0,5706301	9,404	4,404	55,70708	185826,4	3946,008	134,334

Tabel 29. Modifikasi Saluran Turbin Gilingan

Pipa	T ₁ (°C)	T _{1a} (°C)	p ₁ (N/m ²)	p _{1a} (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
gilingan 5									31,53433					199388,8		140
57	140		199388,8		2,50660462	2,50660462	1,01469	31,53433	31,584	1,0130941	4,726	4,726	2,57112	199048,1	192,1812	139,993
belokan	139,993		199048,1		2,50660462	2,50660462	1,0130941	31,584	31,625	1,0117807	4,726	4,421	25,45475	198539,1	74,13969	139,989
58	139,989		198539,1		2,50660462	2,50660462	1,0117807	31,625	31,737	1,0082101	4,421	2,421	5,18202	197803,4	344,3386	139,971
belokan	139,971		197803,4		2,50660462	2,50660462	1,0082101	31,737	31,779	1,0068776	2,421	2,116	25,70261	197289,8	84,13151	139,966
katup	139,966		197289,8		2,50660462	2,50660462	1,0068776	31,779	31,901	1,003027	2,421	2,116	9,300785	196439,8	292,46	139,948
59	139,948		196439,8		2,50660462	2,50660462	1,003027	31,901	33,545	0,9538699	2,116	2,116	8,292755	186683,6	576,3925	139,917
belokan	139,917		186683,6		2,50660462	2,50660462	0,9538699	33,545	33,584	0,9527622	2,116	2,116	28,70988	186197,3	84,11044	139,913
60	139,913		186197,3		2,50660462	2,50660462	0,9527622	33,584	36,913	0,8668373	2,116	2,116	24,05547	169098,8	1490,544	139,809
difuser	139,809		169098,8		2,50660462	2,50660462	0,8668373	36,913	17,826	0,9746649	2,116	2,116	19,80388	190453,1	85,4955	139,796
cabang	139,796	139,917	190453,1	186683,6	2,50660462	5,01320924	0,9746649	17,826	71,628	0,7851285	2,116	2,116	529,5054	186336,8	219,7838	139,794
64	139,794		186336,8		5,01320924	5,01320924	0,485128	71,628	75,341	0,7612197	2,116	2,116	77,0407	176679,2	1897,959	139,587
cabang	139,587	139,917	176679,2	186683,6	5,01320924	7,51981385	0,4612197	75,341	166,067	0,5138681	2,116	2,116	559,5811	176683,9	260,0553	139,608
68	139,608		176683,9		7,51981385	7,51981385	0,3138681	166,067	168,958	0,5084975	2,116	2,116	400,3347	172299,8	2892,44	138,057
difuser	138,057		172299,8		7,51981385	7,51981385	0,3084975	168,958	83,907	0,6456661	2,116	2,116	407,9278	195392,7	198,3985	138,038
cabang	138,038	139,917	195392,7	186683,6	7,51981385	10,0264185	0,3456661	83,907	155,961	0,4479578	2,116	2,116	278,1506	186015,2	353,2016	138,021
72	138,021		186015,2		10,0264185	10,0264185	0,2479578	155,961	158,597	0,4438366	2,116	2,116	263,2586	182192,7	3430,584	136,074
difuser	136,074		182192,7		10,0264185	10,0264185	0,2438366	158,597	93,028	0,5620024	2,116	2,116	253,5329	197275,8	268,2308	136,053
cabang	136,053	139,917	197275,8	186683,6	10,0264185	12,5330231	0,2620024	93,028	153,792	0,3981049	2,116	2,116	107,8899	186355,7	383,3939	136,025
76	136,025		186355,7		12,5330231	12,5330231	0,1981049	153,792	154,107	0,3977131	2,116	2,116	53,39849	185861,7	1064,015	135,564
belokan	135,564		185861,7		12,5330231	12,5330231	0,1977	154,107	154,291	0,3974642	2,116	1,404	848,3248	183992,5	517,2726	135,312
77	135,312		183992,5		12,5330231	12,5330231	0,1974642	154,291	154,424	0,3972942	1,404	0,904	13,42047	183805	360,524	135,184
belokan	135,184		183805		12,5330231	12,5330231	0,1972942	154,424	154,602	0,3970671	0,904	0,192	851,7832	181942,6	516,471	134,936
78	134,936		181942,6		12,5330231	12,5330231	0,197067	154,602	157,581	0,3933415	0,192	0,192	603,8424	177267,9	16277,75	130,162
belokan	130,162		177267,9		12,5330231	12,5330231	0,1933415	157,581	157,742	0,3931442	0,192	0,904	886,8504	175400,3	505,8734	129,965
79	129,965		175400,3		12,5330231	12,5330231	0,1931442	157,742	158,693	0,3919868	0,904	9,904	239,7013	173852,9	5548,932	128,583
belokan	128,583		173852,9		12,5330231	12,5330231	0,1919868	158,693	158,852	0,3917946	9,404	10,116	899,3932	171980,4	502,5297	128,391
80	128,391		171980,4		12,5330231	12,5330231	0,1917946	158,852	162,049	0,3880107	10,116	10,116	725,0443	167153,8	17892,63	122,524
belokan	122,524		167153,8		12,5330231	12,5330231	0,1880107	162,049	162,218	0,3878149	10,116	10,116	937,8741	165246,5	519,6404	122,296
81	122,296		165246,5		12,5330231	12,5330231	0,1878149	162,218	163,527	0,3863115	10,116	10,116	298,8394	163337,8	6061,82	120,121
belokan	120,121		163337,8		12,5330231	12,5330231	0,1863115	163,527	163,731	0,3860793	10,116	9,404	955,2556	161385,7	514,5001	119,852
82	119,852		161385,7		12,5330231	12,5330231	0,1860793	163,731	164,942	0,3847131	9,904	4,404	152,118	159898,3	2964,67	118,896

Tabel 30. Modifikasi Saluran Turbin PLTU

Pipa	T ₁ (°C)	T _{1a} (°C)	p ₁ (N/m ²)	p _{1a} (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
PLTU 1									71,84294					199388,8		140
83	140		199388,8		18,9003364	18,9003364	1,01469	71,84294	71,853	1,014548	1,777	1,277	3,548056	199329,8	377,6551	139,922
katup	139,922		199329,8		18,9003364	18,9003364	1,014548	71,853	71,991	1,0126032	1,277	0,921	47,45664	198469,8	548,5398	139,911
belokan	139,911		198469,8		18,9003364	18,9003364	1,0126032	71,991	72,022	1,0121673	0,921	0,616	132,1339	197073,1	588,588	139,773
84	139,773		197073,1		18,9003364	18,9003364	1,0121673	72,022	72,089	1,0112266	0,616	0,616	14,27433	196743,5	909,7543	139,552
belokan	139,552		196743,5		18,9003364	18,9003364	1,0112266	72,089	72,116	1,010848	0,616	0,616	132,4865	195354,1	548,0961	139,424
85	139,424		195354,1		18,9003364	18,9003364	1,010848	72,116	72,177	1,0099937	0,616	0,616	14,31041	195042,7	908,7345	139,198
belokan	139,198		195042,7		18,9003364	18,9003364	1,0099937	72,177	72,202	1,009644	0,616	0,616	132,8064	193658	547,6035	139,069
86	139,069		193658		18,9003364	18,9003364	1,009644	72,202	72,233	1,0092107	0,616	0,616	7,169294	193501,6	653,9024	138,912
belokan	138,912		193501,6		18,9003364	18,9003364	1,0092107	72,233	72,261	1,0088196	0,616	0,616	133,0181	192108,2	547,2063	138,783
87	138,783		192108,2		18,9003364	18,9003364	1,0088196	72,261	72,325	1,0079269	0,616	0,616	14,36858	191791,5	906,8764	138,558
belokan	138,558		191791,5		18,9003364	18,9003364	1,0079269	72,325	72,353	1,0075369	0,616	0,921	133,3571	190394,1	546,7193	138,436
88	138,436		190394,1		18,9003364	18,9003364	1,0075369	72,353	72,625	1,0037634	0,921	9,811	64,28738	188940,7	6356,675	137,523
belokan	137,523		188940,7		18,9003364	18,9003364	1,0037634	72,625	72,652	1,0033903	9,811	10,116	134,4636	187541,9	545,2789	137,399
89	137,399		187541,9		18,9003364	18,9003364	1,0033903	72,652	72,683	1,0029624	10,116	10,116	7,258919	187388,2	551,4833	137,248
belokan	137,248		187388,2		18,9003364	18,9003364	1,0029624	72,683	72,712	1,0025624	10,116	10,116	134,6821	185986,8	544,892	137,117
90	137,117		185986,8		18,9003364	18,9003364	1,0025624	72,712	72,986	0,9987986	10,116	10,116	51,06657	184768,3	3053,536	136,182
102	136,182		184768,3		18,9003364	18,9003364	0,9987986	72,986	73,045	0,9979918	10,116	10,116	11,34753	184503,6	844,5744	136,013
104	136,013		184503,6		18,9003364	18,9003364	0,9979918	73,045	73,228	0,9954978	10,116	10,116	30,36044	183732,7	1696,598	135,401
difuser	135,401		183732,7		18,9003364	18,9003364	0,9954978	73,228	43,165	1,064415	10,116	10,116	28,08595	198021,3	178,4947	135,356
cabang	135,356	139,648	198021,3	192954,4	18,9003364	23,1004112	1,064415	43,165	108,027	0,5198291	10,116	10,116	216,3397	194108,2	665,1696	135,269
110	135,269		194108,2		23,1004112	23,1004112	0,5198291	108,027	109,659	0,5120927	10,116	10,116	100,0932	190625,6	7238,836	133,367
belokan	133,367		190625,6		23,1004112	23,1004112	0,5120927	109,659	109,706	0,5118734	10,116	10,116	429,2138	188386	813,1845	133,094
111	133,094		188386		23,1004112	23,1004112	0,5118734	109,706	110,327	0,5089922	10,116	10,116	38,34869	187099,3	2480,246	132,042
belokan	132,042		187099,3		23,1004112	23,1004112	0,5089922	110,327	110,373	0,50878	10,116	10,116	434,4539	184850,4	810,3607	131,763
112	131,763		184850,4		23,1004112	23,1004112	0,50878	110,373	115,568	0,4859094	10,116	10,116	404,3571	174328,3	30994,12	121,792
belokan	121,792		174328,3		23,1004112	23,1004112	0,4859094	115,568	115,617	0,4857035	10,116	9,404	476,7145	171983,7	848,5324	121,487
113	121,487		171983,7		23,1004112	23,1004112	0,4857035	115,617	117,024	0,4798638	9,404	4,404	71,44901	169524,5	3978,371	119,904

Tabel 31. Modifikasi Saluran Turbin *FDF*

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
FDF							23,803539					219002,1		160
10	160	219002,1	0,8528421	0,8528421	1,110836	23,803539	23,813	1,110395	1	1	0,605748	218908,2	19,21475	159,999
belokan	159,999	218908,2	0,8528421	0,8528421	1,1103947	23,813	23,823	1,109929	1	1,203	14,45711	218656,5	24,48311	159,998
katup	159,998	218656,5	0,8528421	0,8528421	1,1099286	23,823	23,884	1,107094	1,203	1,495	5,800096	218030,2	275,0843	159,996
11	159,996	218030,2	0,8528421	0,8528421	1,1070938	23,884	23,993	1,102064	1,495	3,895	5,87897	216947,4	184,4604	159,994
belokan	159,994	216947,4	0,8528421	0,8528421	1,1020643	23,993	24,005	1,101513	3,895	4,098	14,67768	216677,8	24,4829	159,993
12	159,993	216677,8	0,8528421	0,8528421	1,1015133	24,005	24,062	1,098904	4,098	4,098	2,469052	216136,4	76,85657	159,991
belokan	159,991	216136,4	0,8528421	0,8528421	1,098904	24,062	24,077	1,098219	4,098	3,895	14,76404	215844,5	24,48228	159,99
13	159,99	215844,5	0,8528421	0,8528421	1,0982194	24,077	24,196	1,092818	3,895	1,895	4,980521	214747,8	153,7093	159,987

Tabel 32. Modifikasi Saluran Turbin *FWP. Yoshimine*

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
FWP.YOSH							16,916171					219002,1		140
20	140	219002,1	0,6299186	0,6299186	1,15453	16,916171	16,927	1,153791	0,218	0,218	0,287998	218858,5	16,13165	139,999
belokan	139,999	218858,5	0,6299186	0,6299186	1,1537914	16,927	16,946	1,152498	0,218	0,421	7,310016	218527,8	20,56517	139,998
katup	139,998	218527,8	0,6299186	0,6299186	1,1524977	16,946	16,998	1,148972	0,421	0,713	2,936277	217821,9	223,4746	139,996
21	139,996	217821,9	0,6299186	0,6299186	1,148972	16,998	17,014	1,147892	0,713	1,463	0,872635	217598,5	48,39618	139,994

Tabel 33. Modifikasi Saluran Turbin *FWP. Stork*

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
FWP.STORK							11,84132					219002,1		140
25	140	219002,1	0,440943	0,440943	1,15453	11,84132	11,848	1,153879	0,286	0,286	0,141108	218876,9	16,05132	139,999
katup	139,999	218876,9	0,440943	0,440943	1,153879	11,848	11,896	1,149223	0,286	0,286	1,436742	217976,9	212,1422	139,997
belokan	139,997	217976,9	0,440943	0,440943	1,1492232	11,896	11,921	1,146813	0,286	0,489	3,613975	217476,5	20,46231	139,996
26	139,996	217476,5	0,440943	0,440943	1,1468131	11,921	11,948	1,144222	0,489	1,489	0,573028	216967	64,20265	139,994
belokan	139,994	216967	0,440943	0,440943	1,1442215	11,948	11,972	1,141928	1,489	1,692	3,645301	216488,6	20,46187	139,993
27	139,993	216488,6	0,440943	0,440943	1,1419277	11,972	12,158	1,124458	1,692	1,692	4,099396	213128,9	449,382	139,978

Tabel 34. Modifikasi Saluran Turbin Unigrator

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
UNIG							61,215975					219002,1		160
katup	160	219002,1	7,7487977	7,7487977	1,110836	61,215975	61,396	1,107579	0,474	0,474	32,56535	217914,9	648,3834	159,994
46	159,994	217914,9	7,7487977	7,7487977	1,1075788	61,396	61,447	1,10666	0,474	0,474	8,074894	217721,8	678,9694	159,966
belokan	159,966	217721,8	7,7487977	7,7487977	1,1066595	61,447	61,483	1,106012	0,474	0,88	96,27794	216542,9	382,1983	159,957
47	159,957	216542,9	7,7487977	7,7487977	1,1060116	61,483	61,547	1,104861	0,88	1,88	12,14925	216170,8	943,4017	159,924
belokan	159,924	216170,8	7,7487977	7,7487977	1,1048615	61,547	61,582	1,104234	1,88	2,286	96,5899	214994,9	382,1731	159,916
48	159,916	214994,9	7,7487977	7,7487977	1,1042335	61,582	61,633	1,10332	2,286	2,286	8,123874	214725,6	678,8985	159,889

Tabel 35. Modifikasi Saluran Turbin Gilingan 4

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
gilingan 4							31,534326					199388,8		140
61	140	199388,8	2,5066046	2,5066046	1,01469	31,534326	31,584	1,013094	4,726	4,726	2,57112	199048,1	192,1812	139,993
belokan	139,993	199048,1	2,5066046	2,5066046	1,0130941	31,584	31,625	1,011781	4,726	4,421	25,45475	198539,1	74,13969	139,989
62	139,989	198539,1	2,5066046	2,5066046	1,0117807	31,625	31,737	1,00821	4,421	2,421	5,18202	197803,4	344,3386	139,971
belokan	139,971	197803,4	2,5066046	2,5066046	1,0082101	31,737	31,779	1,006878	2,421	2,116	25,70261	197289,8	84,13151	139,966
katup	139,966	197289,8	2,5066046	2,5066046	1,0068776	31,779	31,901	1,003027	2,421	2,116	9,300785	196439,8	292,46	139,948
63	139,948	196439,8	2,5066046	2,5066046	1,003027	31,901	33,545	0,95387	2,116	2,116	8,292755	186683,6	576,3925	139,917

Tabel 36. Modifikasi Saluran Turbin Gilingan 3

pipa	T ₁ (°C)	p ₁ (N/m ²)	m ₁ (kg/dt)	m ₂ (kg/dt)	ρ ₁ (kg/m ³)	V ₁ (m/dt)	V ₂ (m/dt)	ρ ₂ (kg/m ³)	Z ₁ (m)	Z ₂ (m)	h _L (m)	p ₂ (N/m ²)	q _{konv} (W)	T ₂ (°C)
gilingan 3							31,534326					199388,8		140
65	140	199388,8	2,5066046	2,5066046	1,01469	31,534326	31,584	1,013094	4,726	4,726	2,57112	199048,1	192,1812	139,993
belokan	139,993	199048,1	2,5066046	2,5066046	1,0130941	31,584	31,625	1,011781	4,726	4,421	25,45475	198539,1	74,13969	139,989
66	139,989	198539,1	2,5066046	2,5066046	1,0117807	31,625	31,737	1,00821	4,421	2,421	5,18202	197803,4	344,3386	139,971
belokan	139,971	197803,4	2,5066046	2,5066046	1,0082101	31,737	31,779	1,006878	2,421	2,116	25,70261	197289,8	84,13151	139,966
katup	139,966	197289,8	2,5066046	2,5066046	1,0068776	31,779	31,901	1,003027	2,421	2,116	9,300785	196439,8	292,46	139,948
67	139,948	196439,8	2,5066046	2,5066046	1,003027	31,901	33,545	0,95387	2,116	2,116	8,292755	186683,6	576,3925	139,917

Tabel 37. Modifikasi Saluran Turbin Gilingan 2

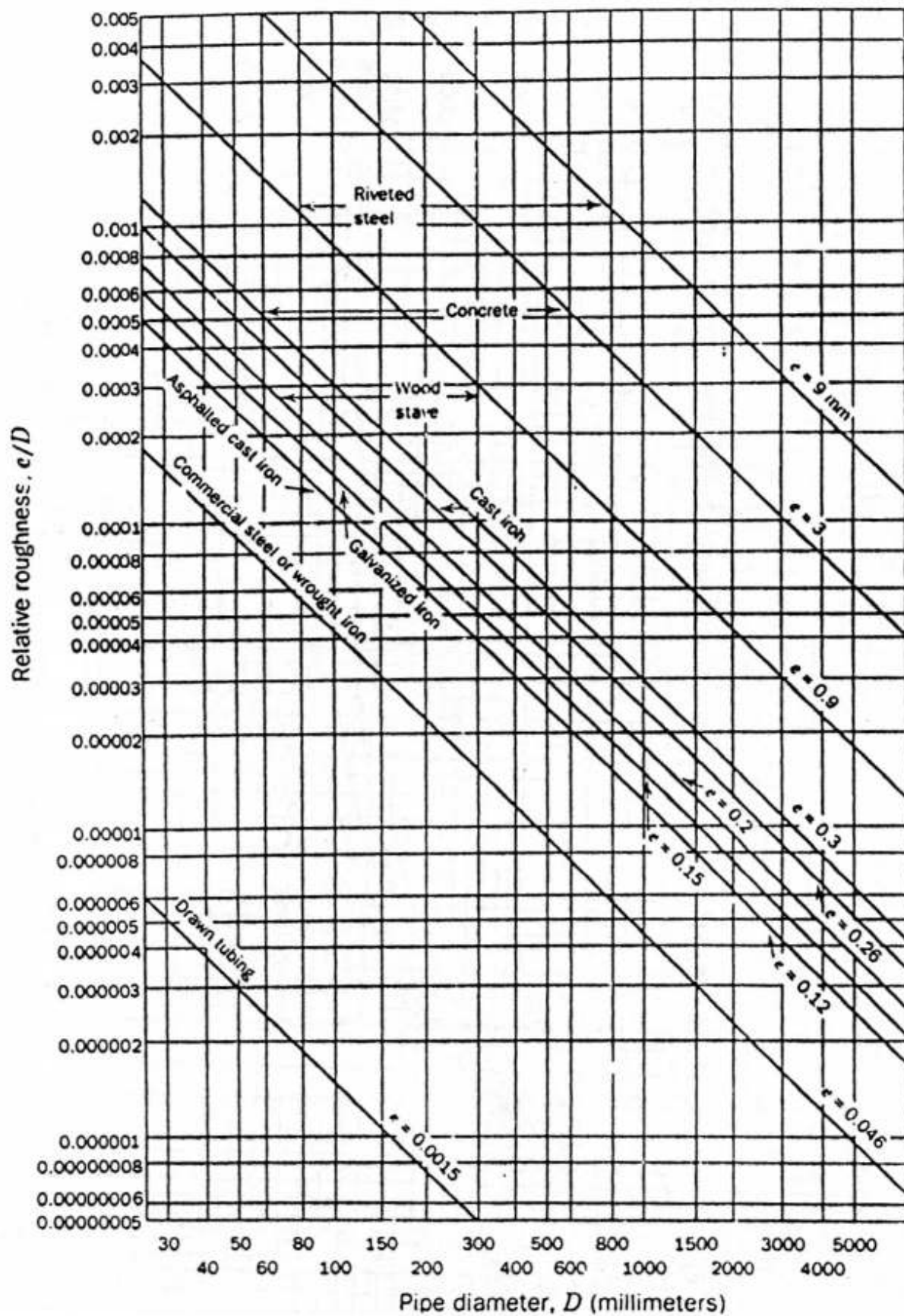
pipa	T_1 (°C)	p_1 (N/m ²)	m_1 (kg/dt)	m_2 (kg/dt)	ρ_1 (kg/m ³)	V_1 (m/dt)	V_2 (m/dt)	ρ_2 (kg/m ³)	Z_1 (m)	Z_2 (m)	h_L (m)	p_2 (N/m ²)	q_{konv} (W)	T_2 (°C)
gilingan 2							31,534326					199388,8		140
69	140	199388,8	2,5066046	2,5066046	1,01469	31,534326	31,584	1,013094	4,726	4,726	2,57112	199048,1	192,1812	139,993
belokan	139,993	199048,1	2,5066046	2,5066046	1,0130941	31,584	31,625	1,011781	4,726	4,421	25,45475	198539,1	74,13969	139,989
70	139,989	198539,1	2,5066046	2,5066046	1,0117807	31,625	31,737	1,00821	4,421	2,421	5,18202	197803,4	344,3386	139,971
belokan	139,971	197803,4	2,5066046	2,5066046	1,0082101	31,737	31,779	1,006878	2,421	2,116	25,70261	197289,8	84,13151	139,966
katup	139,966	197289,8	2,5066046	2,5066046	1,0068776	31,779	31,901	1,003027	2,421	2,116	9,300785	196439,8	292,46	139,948
71	139,948	196439,8	2,5066046	2,5066046	1,003027	31,901	33,545	0,95387	2,116	2,116	8,292755	186683,6	576,3925	139,917

Tabel 38. Modifikasi Saluran Turbin Gilingan 1

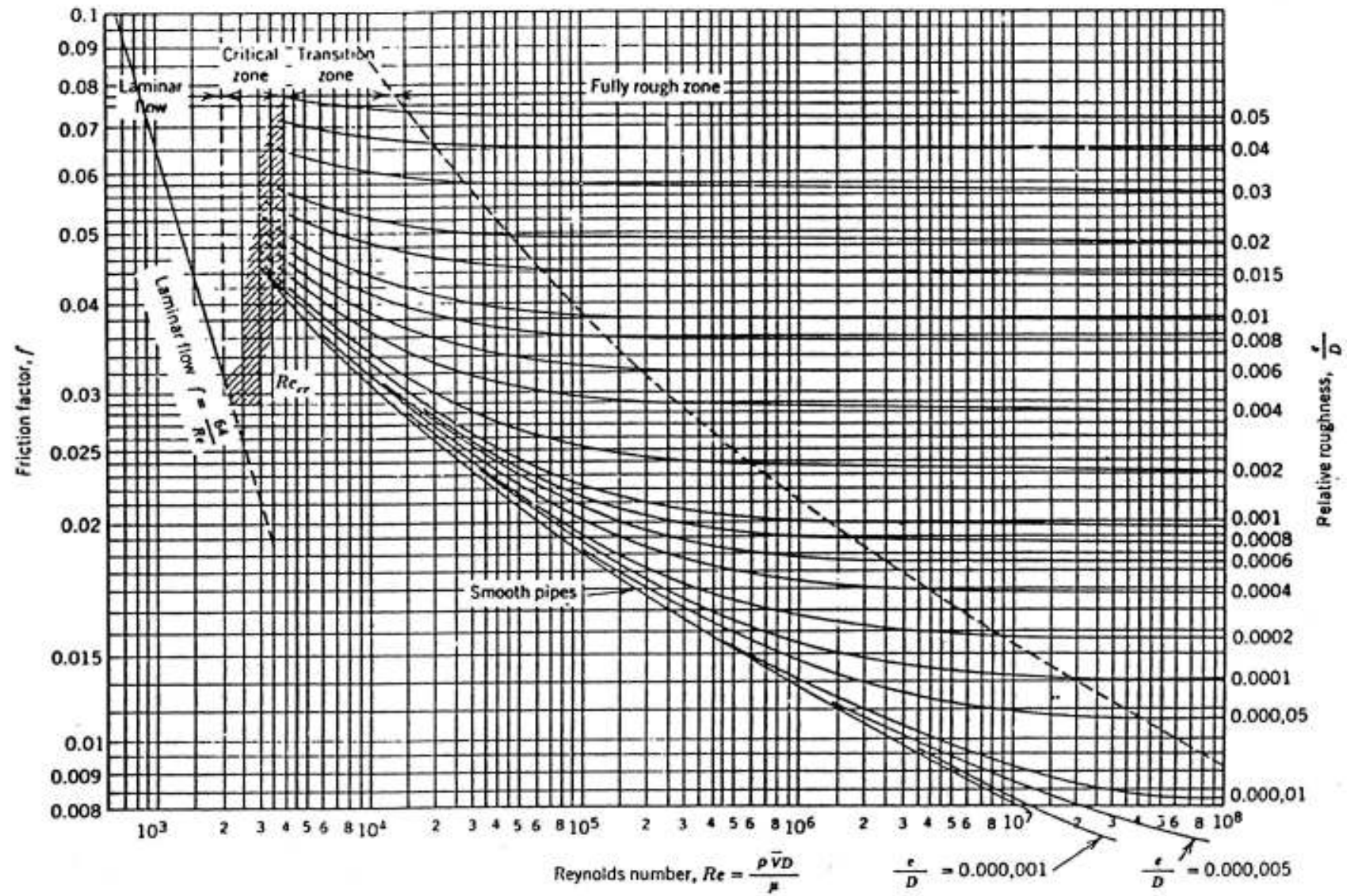
pipa	T_1 (°C)	p_1 (N/m ²)	m_1 (kg/dt)	m_2 (kg/dt)	ρ_1 (kg/m ³)	V_1 (m/dt)	V_2 (m/dt)	ρ_2 (kg/m ³)	Z_1 (m)	Z_2 (m)	h_L (m)	p_2 (N/m ²)	q_{konv} (W)	T_2 (°C)
gilingan 1							31,534326					199388,8		140
73	140	199388,8	2,5066046	2,5066046	1,01469	31,534326	31,584	1,013094	4,726	4,726	2,57112	199048,1	192,1812	139,993
belokan	139,993	199048,1	2,5066046	2,5066046	1,0130941	31,584	31,625	1,011781	4,726	4,421	25,45475	198539,1	74,13969	139,989
74	139,989	198539,1	2,5066046	2,5066046	1,0117807	31,625	31,737	1,00821	4,421	2,421	5,18202	197803,4	344,3386	139,971
belokan	139,971	197803,4	2,5066046	2,5066046	1,0082101	31,737	31,779	1,006878	2,421	2,116	25,70261	197289,8	84,13151	139,966
katup	139,966	197289,8	2,5066046	2,5066046	1,0068776	31,779	31,901	1,003027	2,421	2,116	9,300785	196439,8	292,46	139,948
75	139,948	196439,8	2,5066046	2,5066046	1,003027	31,901	33,545	0,95387	2,116	2,116	8,292755	186683,6	576,3925	139,917

Tabel 39. Modifikasi Saluran Turbin PLTU 3

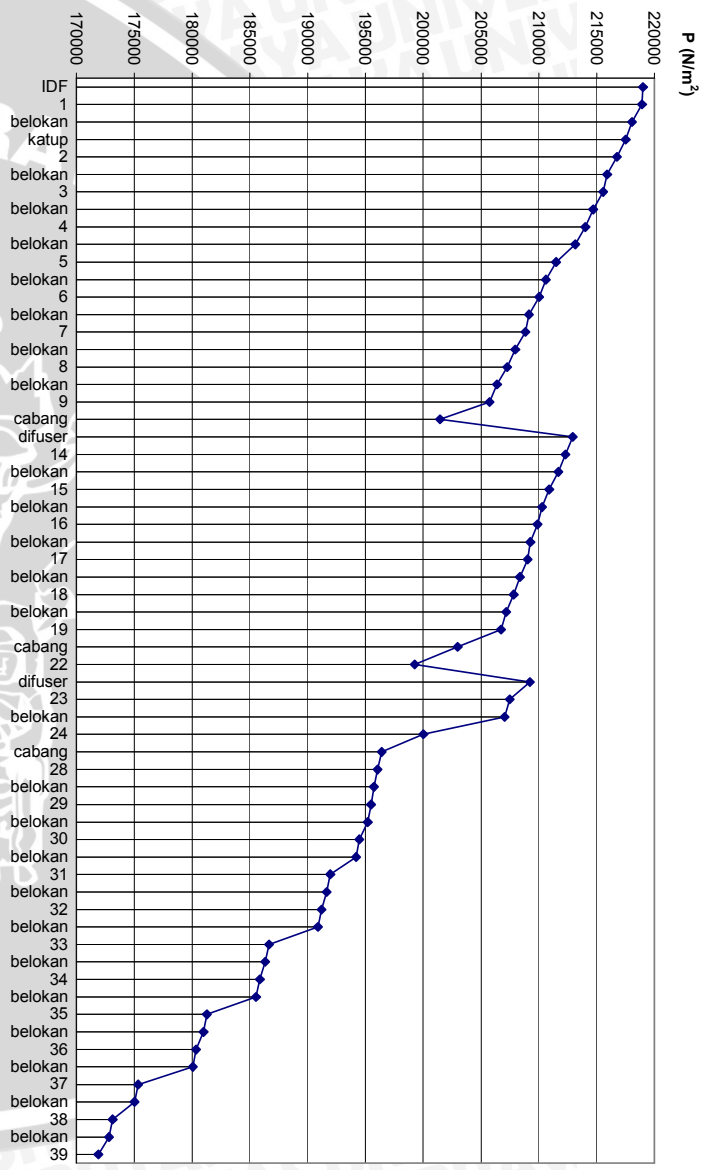
pipa	T_1 (°C)	p_1 (N/m ²)	m_1 (kg/dt)	m_2 (kg/dt)	ρ_1 (kg/m ³)	V_1 (m/dt)	V_2 (m/dt)	ρ_2 (kg/m ³)	Z_1 (m)	Z_2 (m)	h_L (m)	p_2 (N/m ²)	q_{konv} (W)	T_2 (°C)
PLTU 3							47,437609					199388,8		140
105	140	199388,8	4,2000748	4,2000748	1,01469	47,437609	47,463	1,014147	1,641	1,141	2,753616	199258,5	88,40257	139,989
katup	139,989	199258,5	4,2000748	4,2000748	1,0141472	47,463	47,589	1,011462	1,141	0,76	20,72221	198522,8	208,6098	139,981
belokan	139,981	198522,8	4,2000748	4,2000748	1,0114621	47,589	47,624	1,010719	0,76	0,404	57,75685	197806,1	164,0965	139,969
106	139,969	197806,1	4,2000748	4,2000748	1,0107187	47,624	47,647	1,010231	0,404	0,404	2,775152	197682	208,3891	139,96
belokan	139,96	197682	4,2000748	4,2000748	1,0102308	47,647	47,677	1,009595	0,404	0,404	57,8916	196982,8	164,0862	139,949
107	139,949	196982,8	4,2000748	4,2000748	1,0095951	47,677	47,786	1,007292	0,404	0,404	16,7181	196363	1090,208	139,886
belokan	139,886	196363	4,2000748	4,2000748	1,0072923	47,786	47,812	1,006744	0,404	0,76	58,22488	195676,4	163,0497	139,878
108	139,878	195676,4	4,2000748	4,2000748	1,0067445	47,812	48,108	1,00055	0,76	9,76	50,63563	193872,9	2769,51	139,683
belokan	139,683	193872,9	4,2000748	4,2000748	1,0005502	48,108	48,135	0,999989	9,76	10,116	59,01322	193180,5	163,9467	139,673
109	139,673	193180,5	4,2000748	4,2000748	0,9999889	48,135	48,177	0,999117	10,116	10,116	5,672261	192954,4	356,5039	139,648



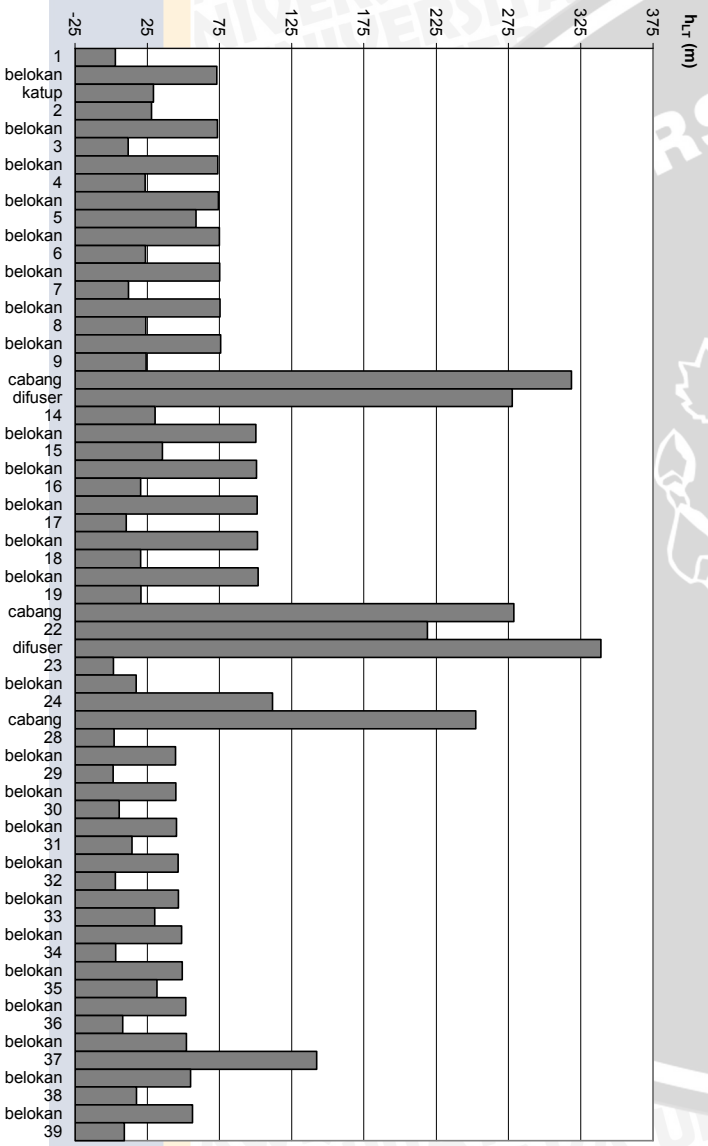
Grafik 1. Kekasaran relatif pada material pipa
Sumber : Fox, 1994: 334



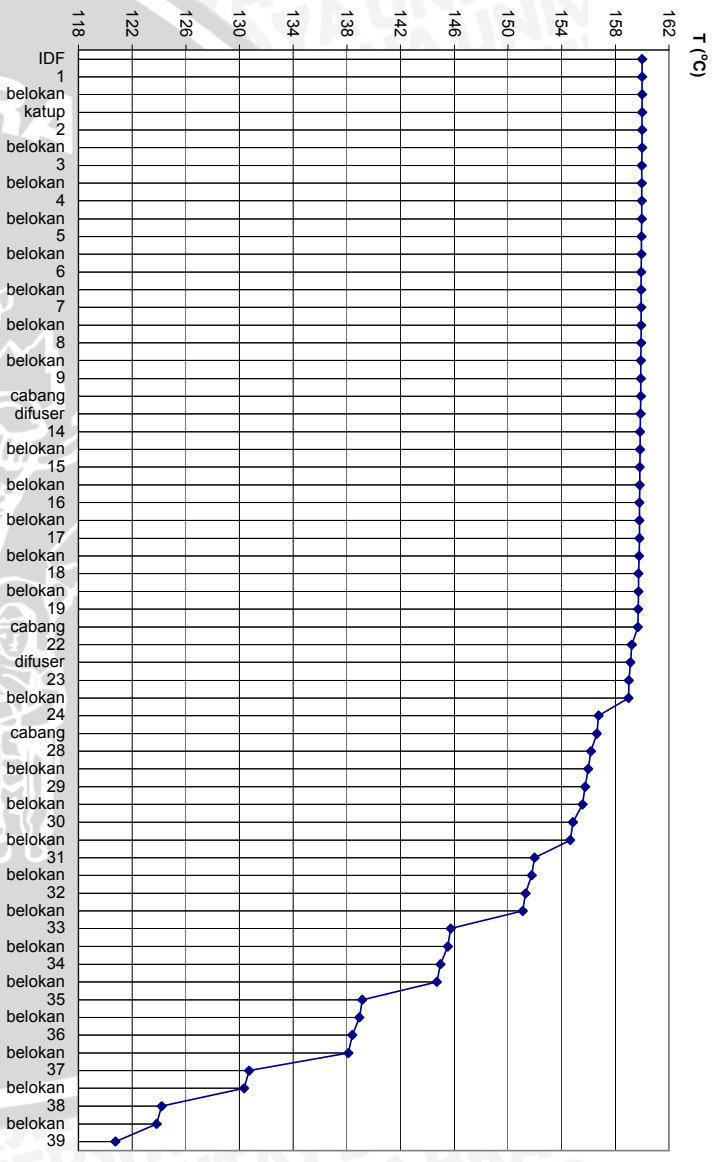
Grafik 2. Faktor gesekan pada aliran pipa
Sumber : Fox, 1994: 333



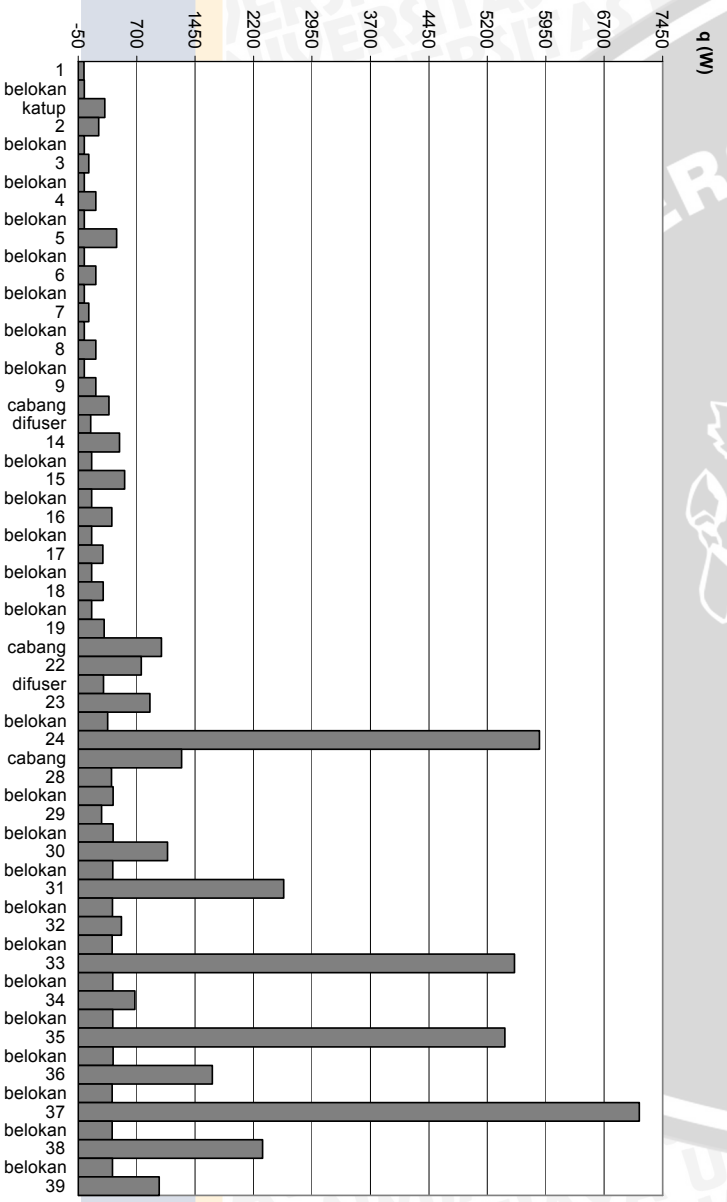
Grafik 3. Distribusi p saluran turbin IDF



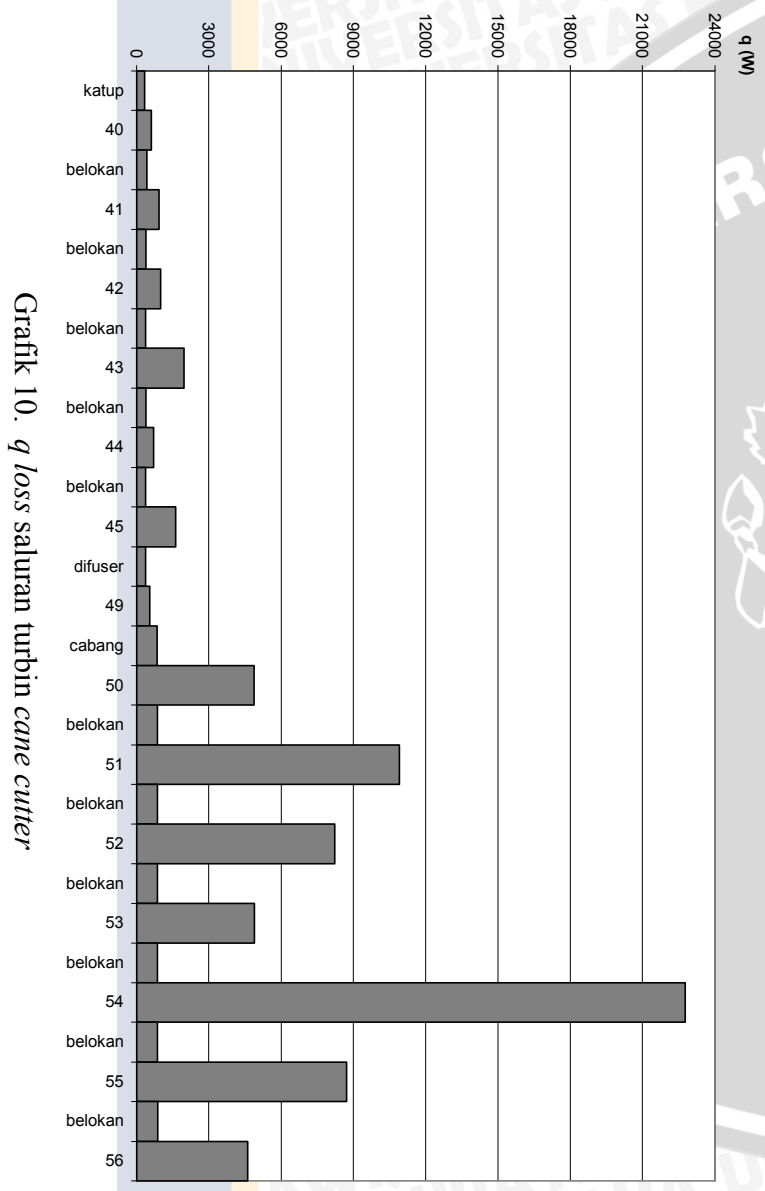
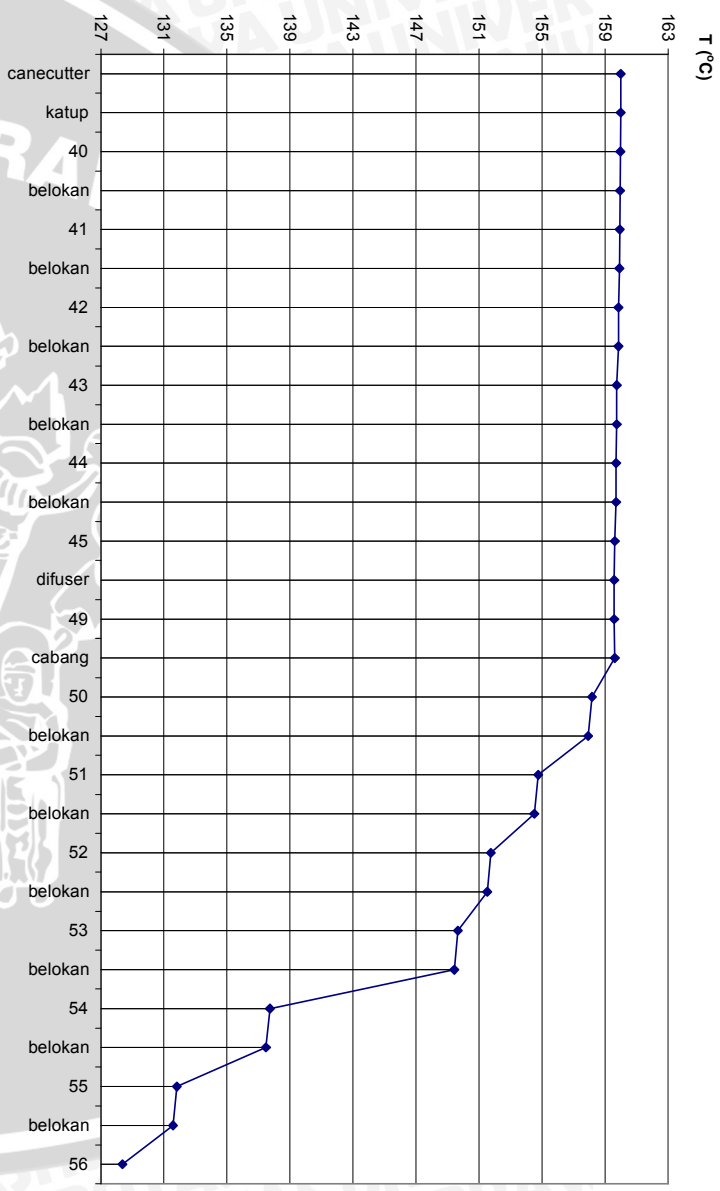
Grafik 4. Head loss saluran turbin IDF

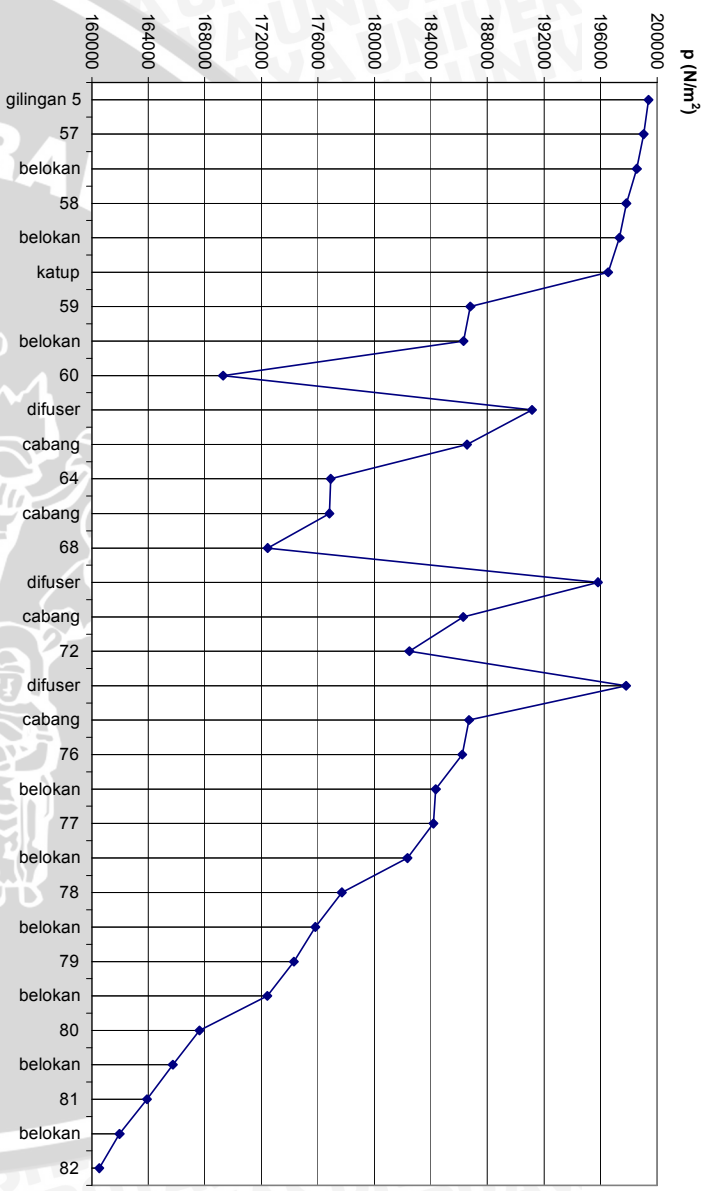


Graph 5. Distribution of temperature T in the turbine passage

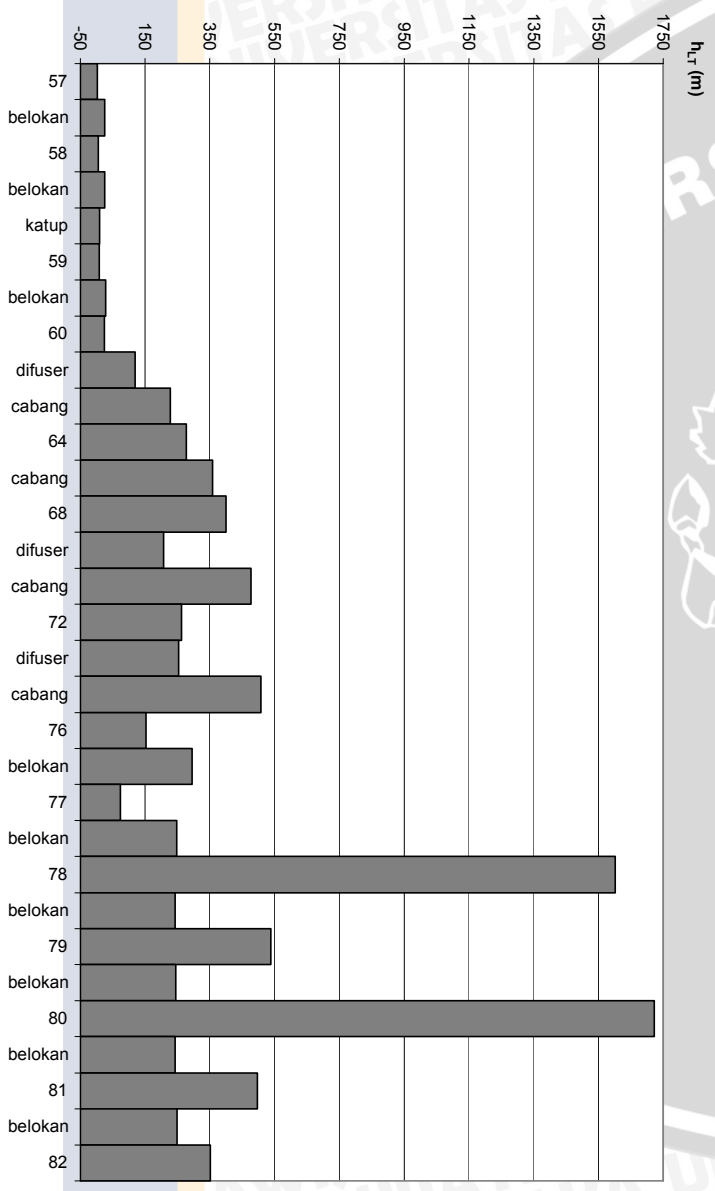


Graph 6. q loss distribution in the turbine passage

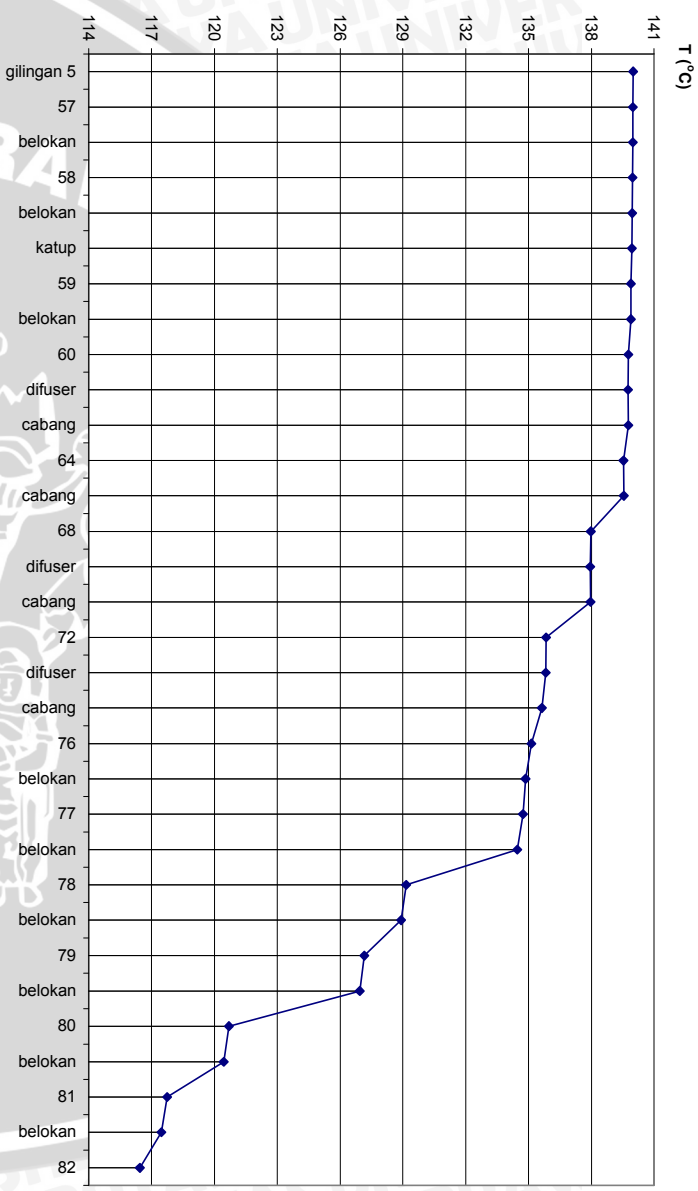




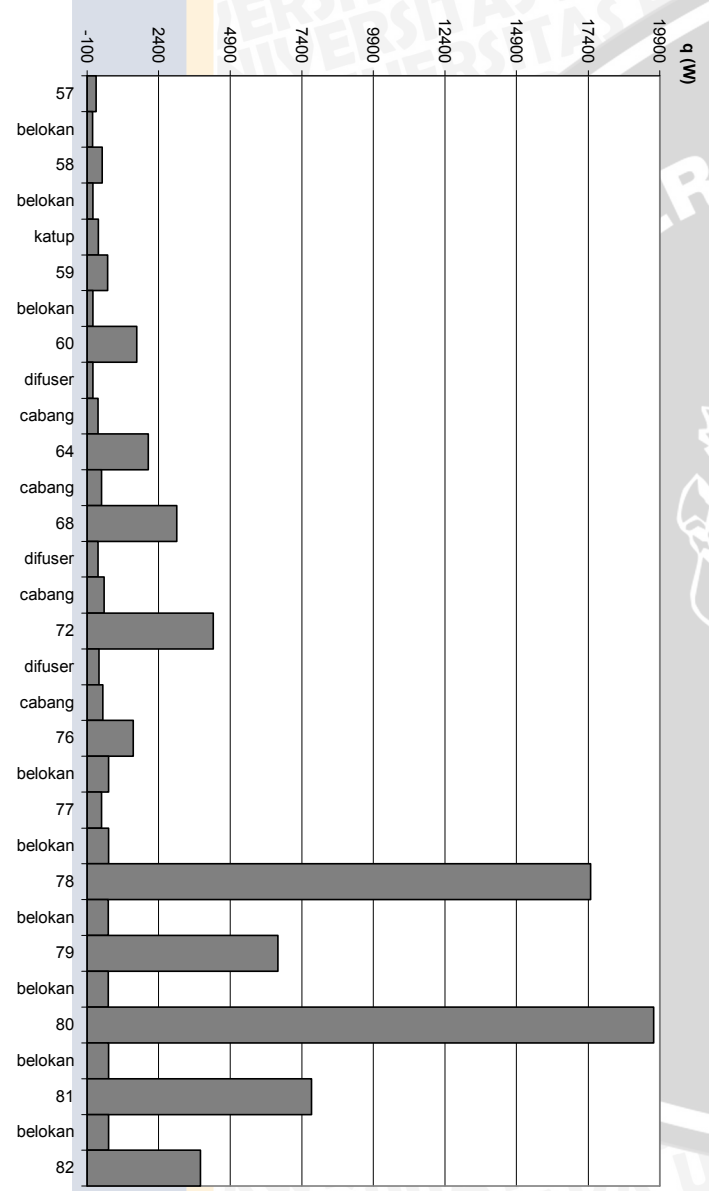
Grafik 11. Distribusi p saluran turbin gilingan 5



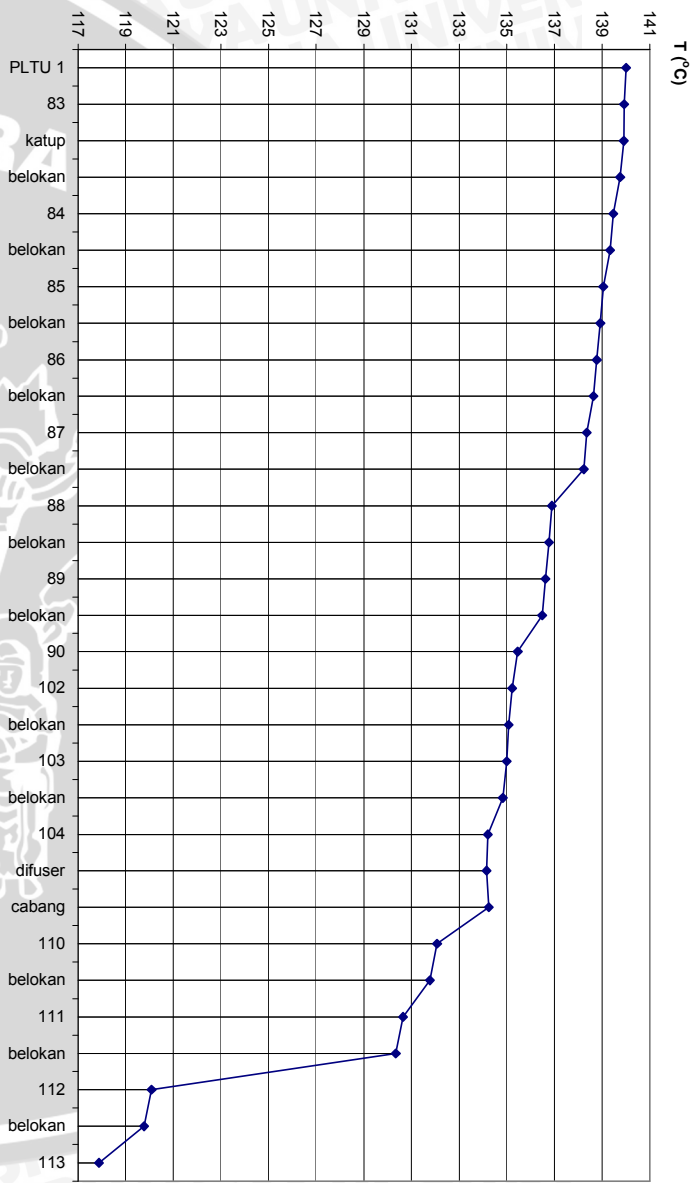
Grafik 12. Head loss saluran turbin gilingan 5



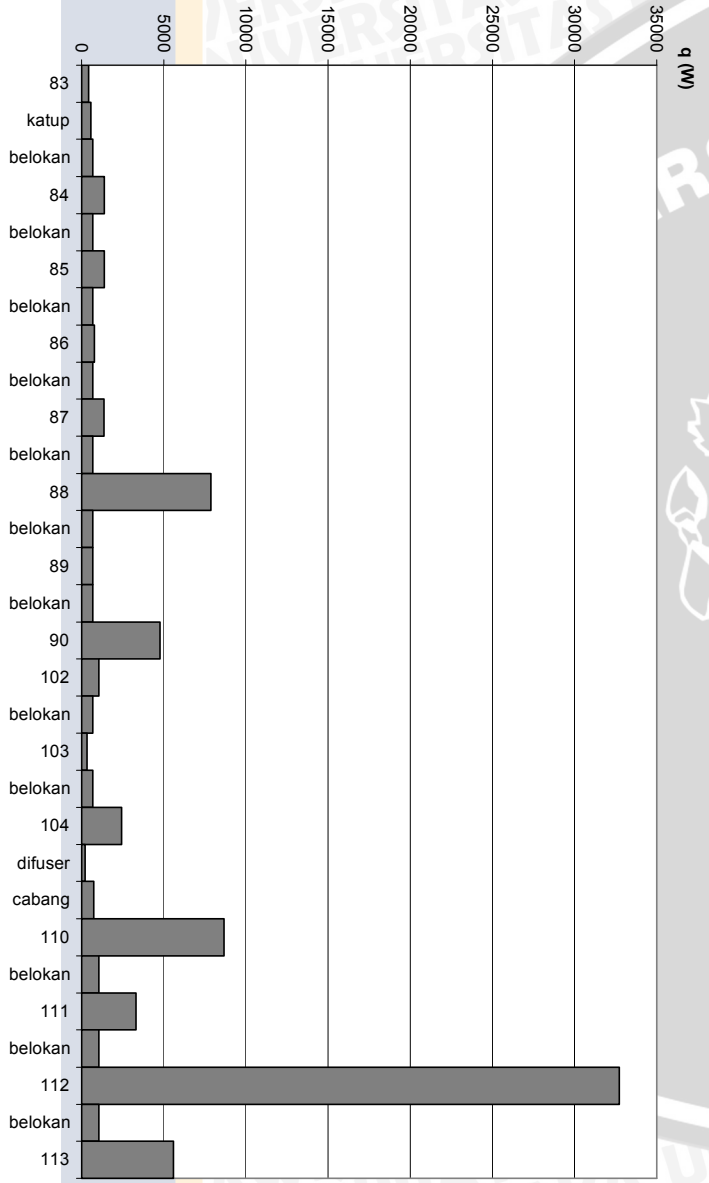
Grafik 13. Distribusi T saluran turbin gilingan 5



Grafik 14. q loss saluran turbin gilingan 5



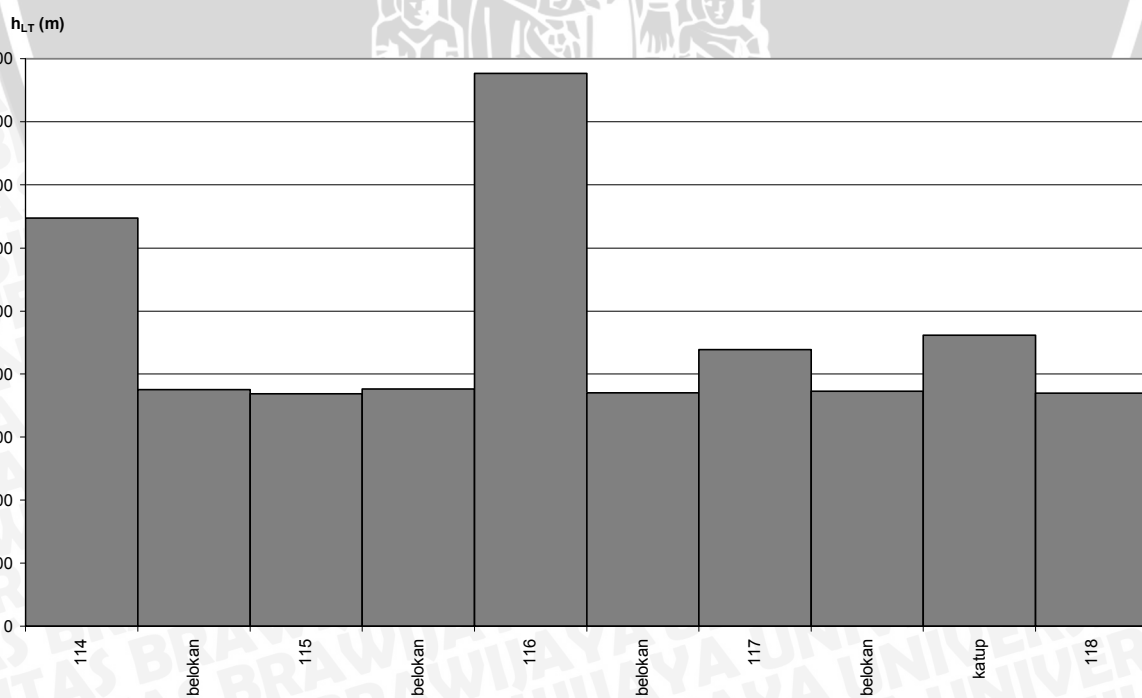
Grafik 17. Distribusi T saluran turbin PLTU 1



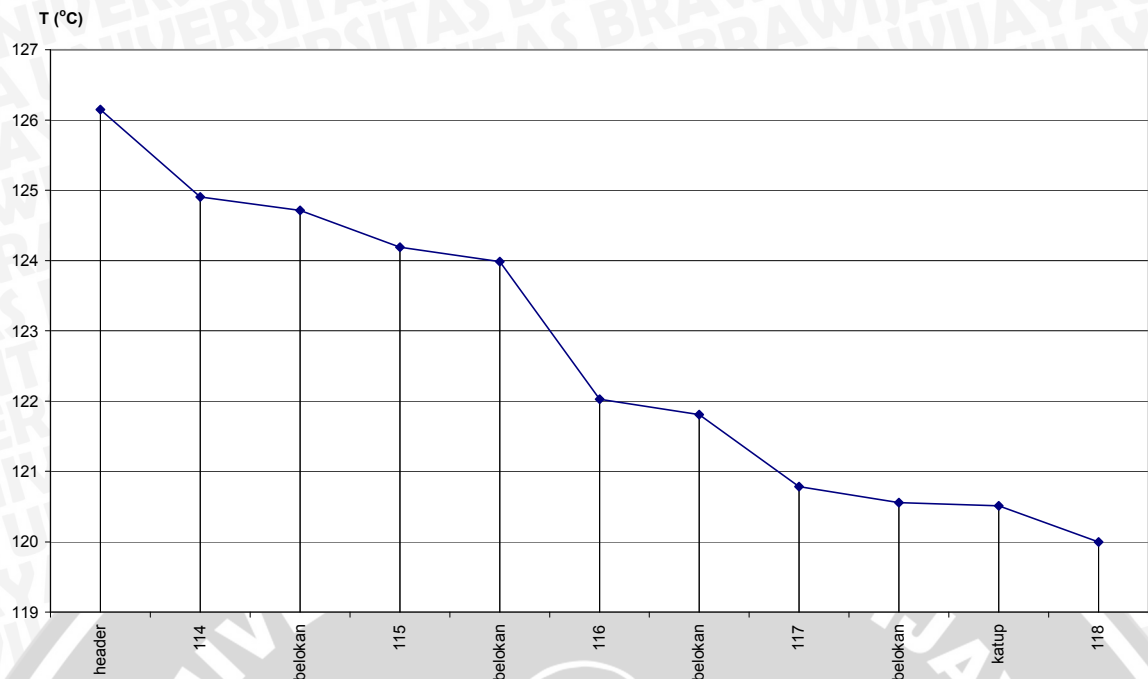
Grafik 18. q loss saluran turbin PLTU 1



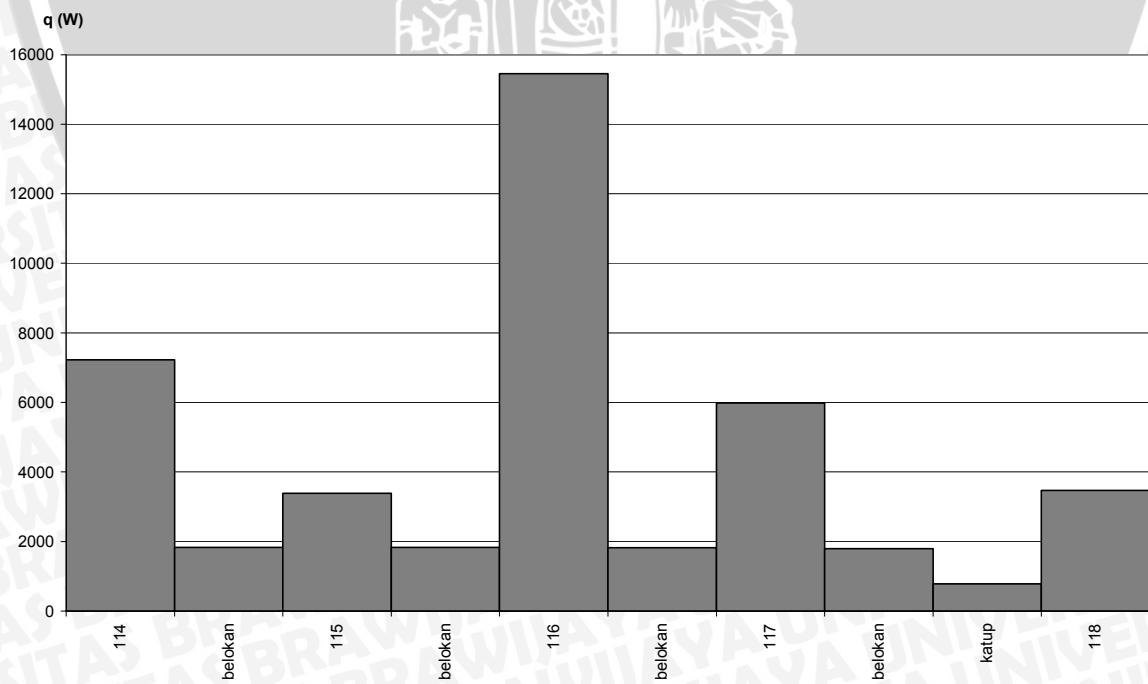
Grafik 19. Distribusi p saluran evaporator



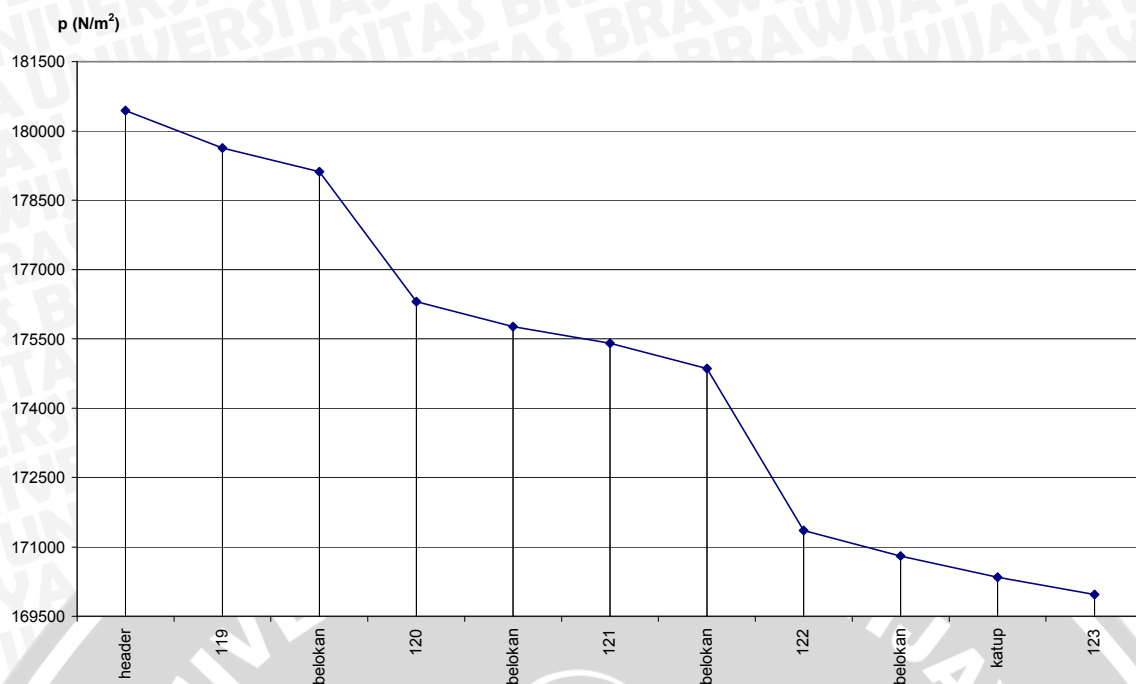
Grafik 20. Head loss saluran evaporator



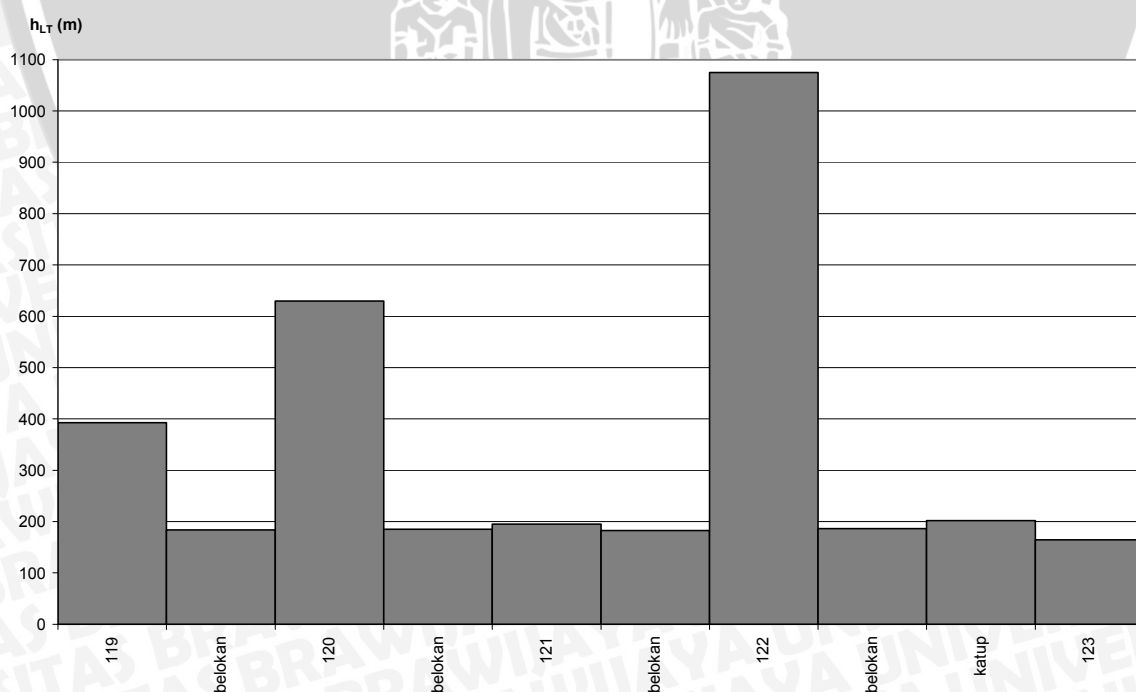
Grafik 21. Distribusi T saluran *evaporator*



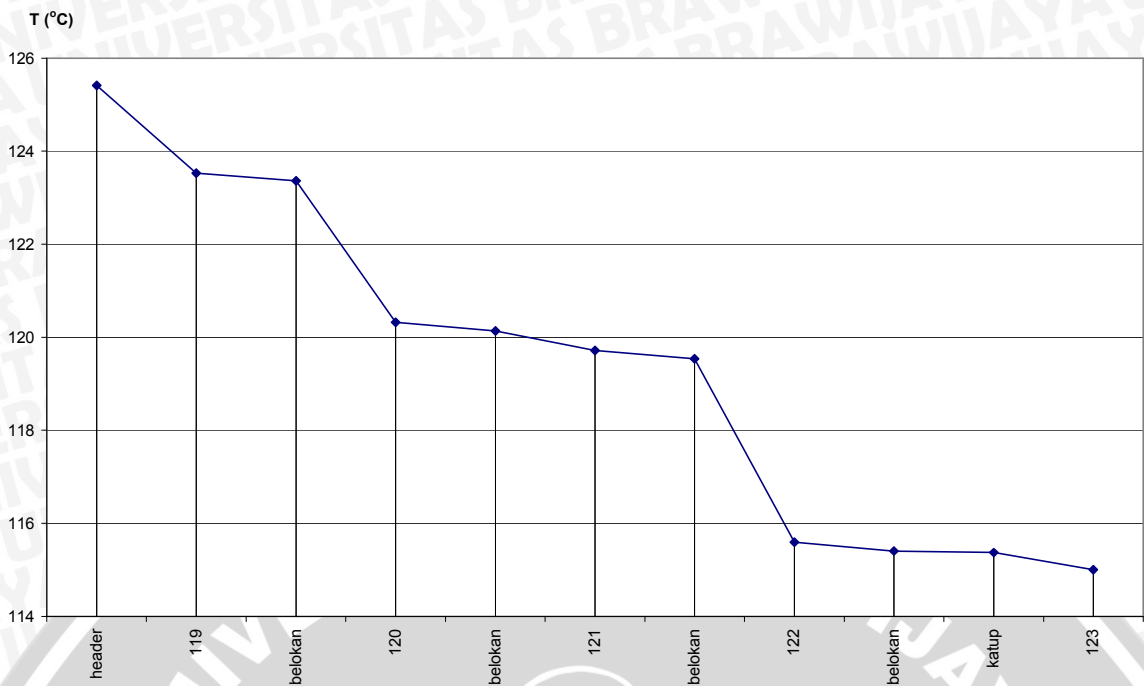
Grafik 22. q loss saluran *evaporator*



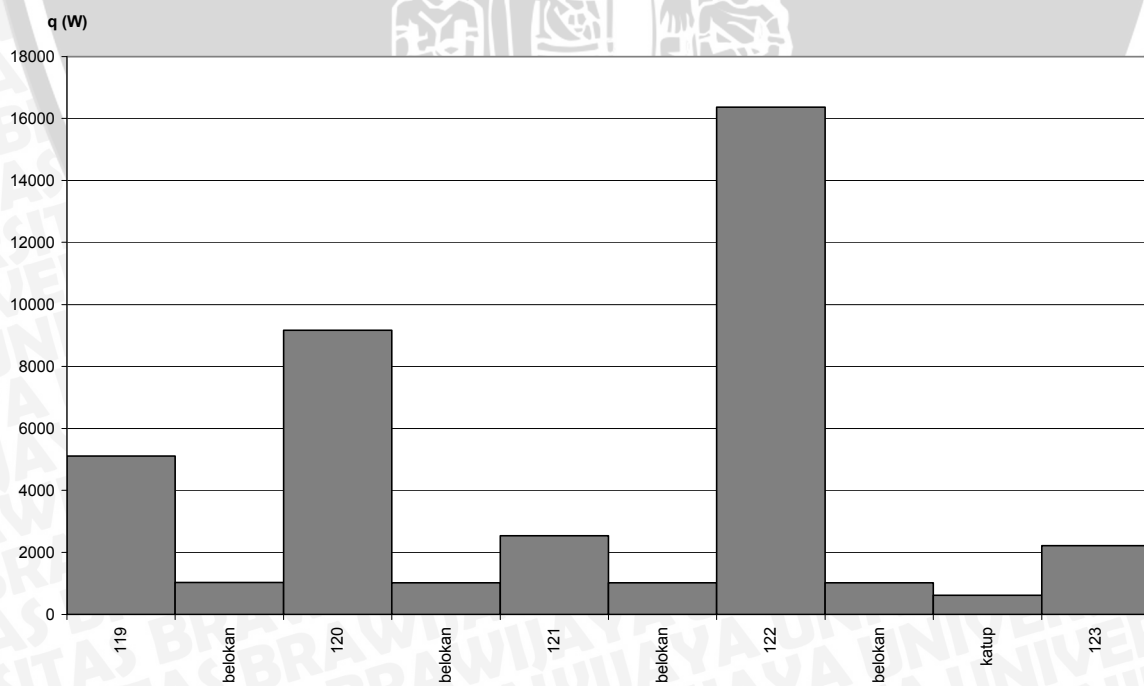
Grafik 23. Distribusi p saluran masakan



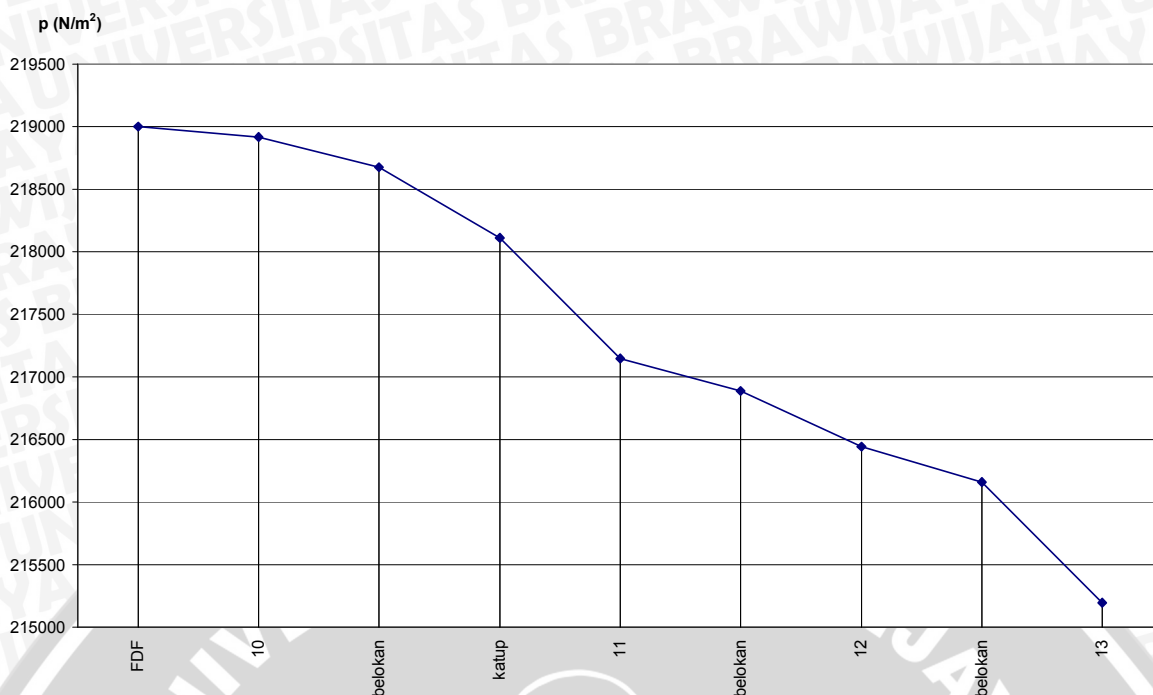
Grafik 24. Head loss saluran masakan



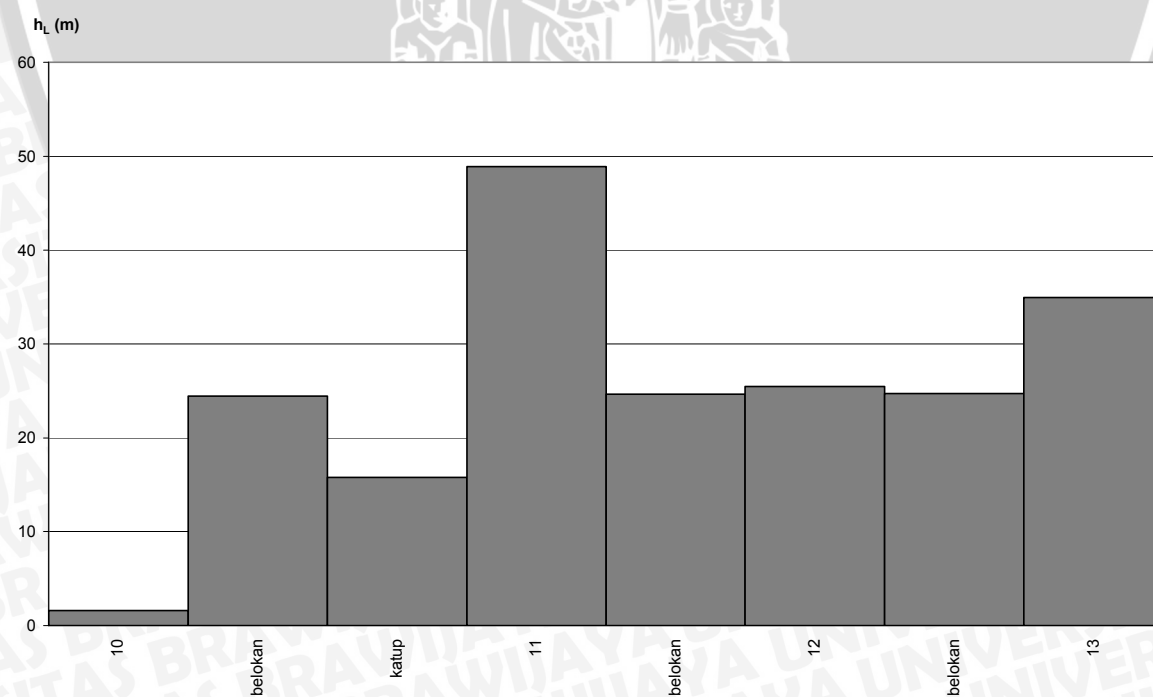
Grafik 25. Distribusi T saluran masakan



Grafik 26. q loss saluran masakan



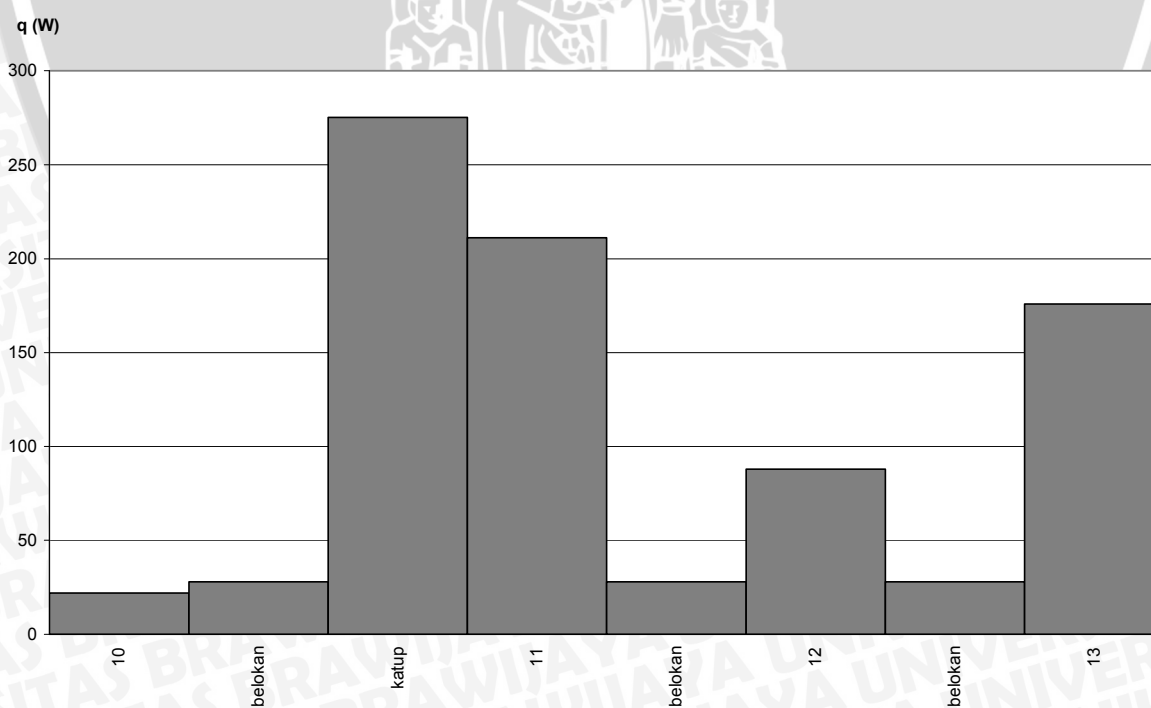
Grafik 27. Distribusi p saluran turbin FDF



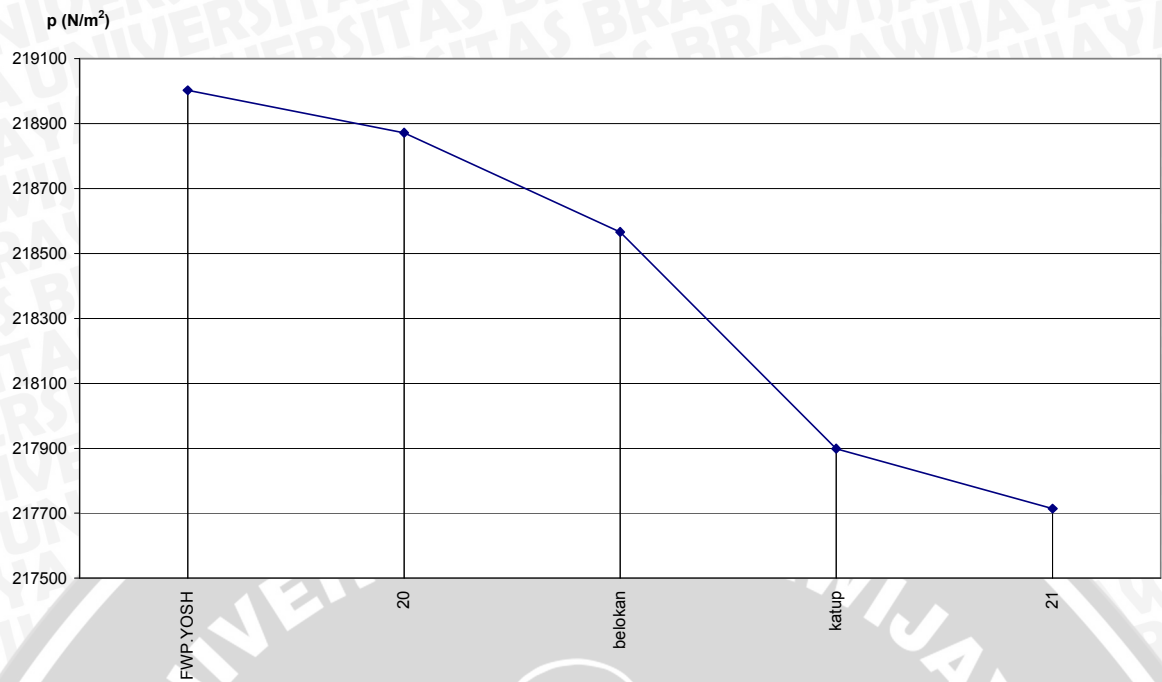
Grafik 28. Head loss saluran turbin FDF



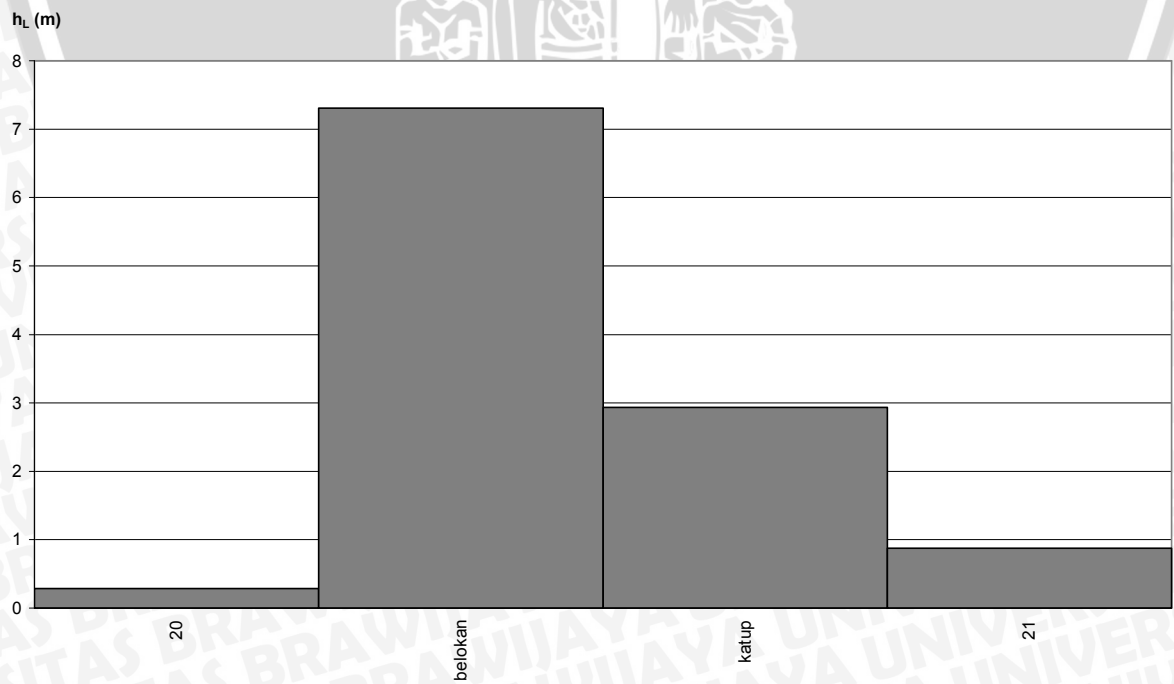
Grafik 29. Distribusi T saluran turbin *FDF*



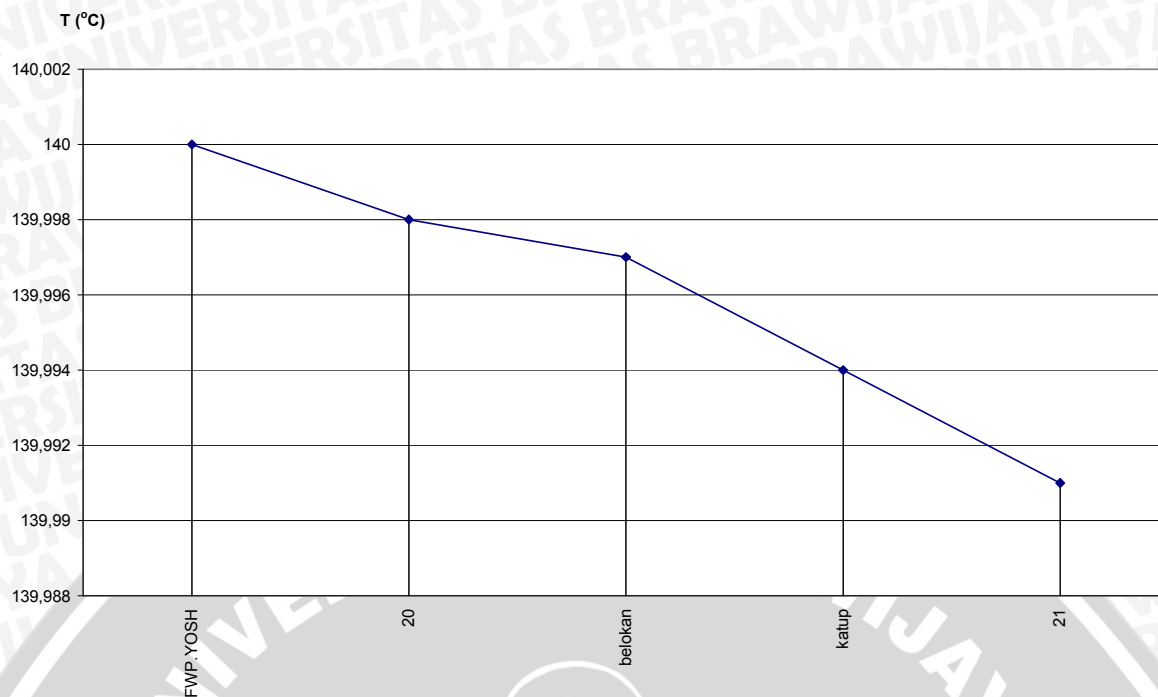
Grafik 30. q loss saluran turbin *FDF*



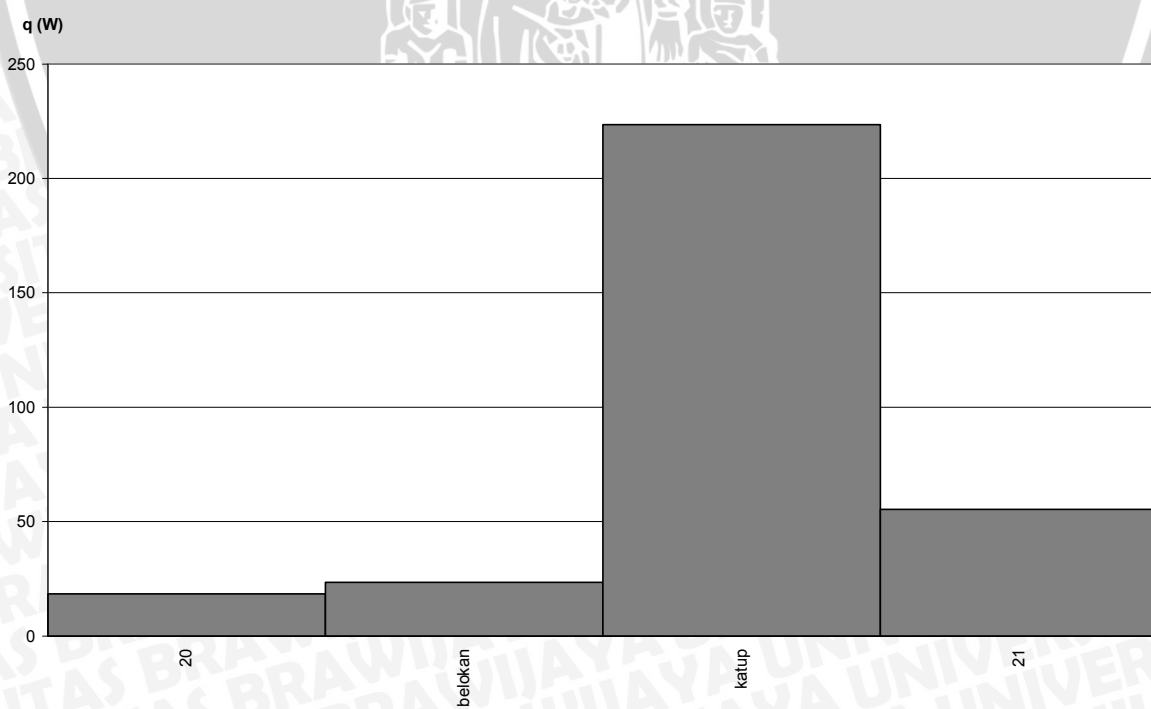
Grafik 31. Distribusi p saluran turbin FWP. Yoshimine



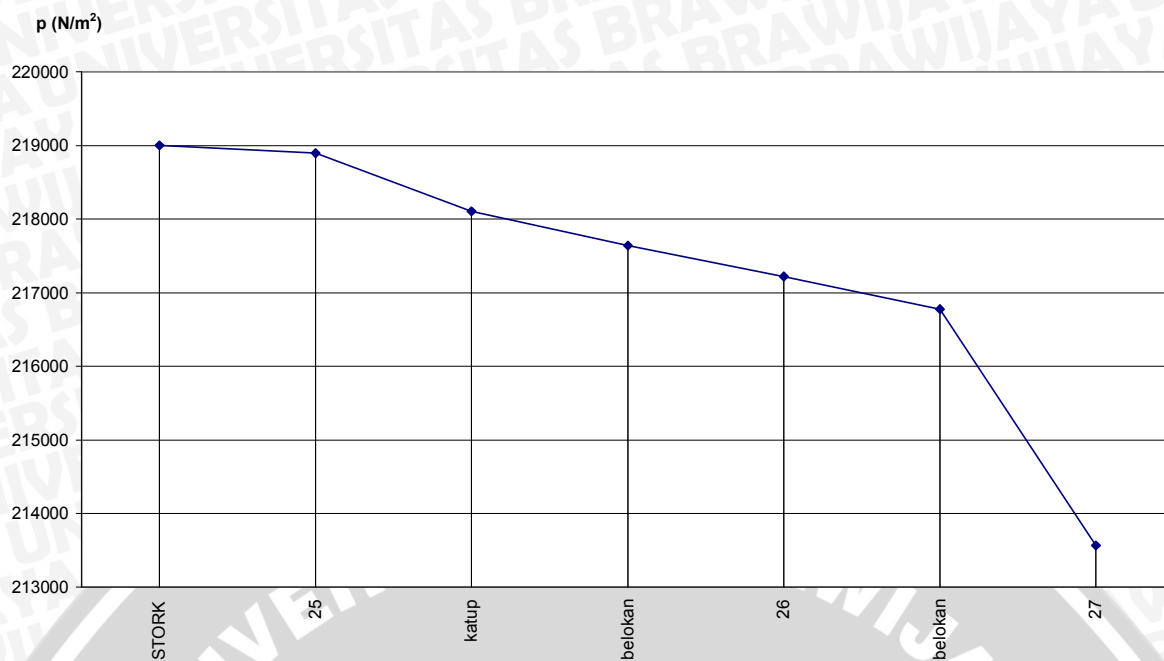
Grafik 32. Head loss saluran turbin FWP. Yoshimine



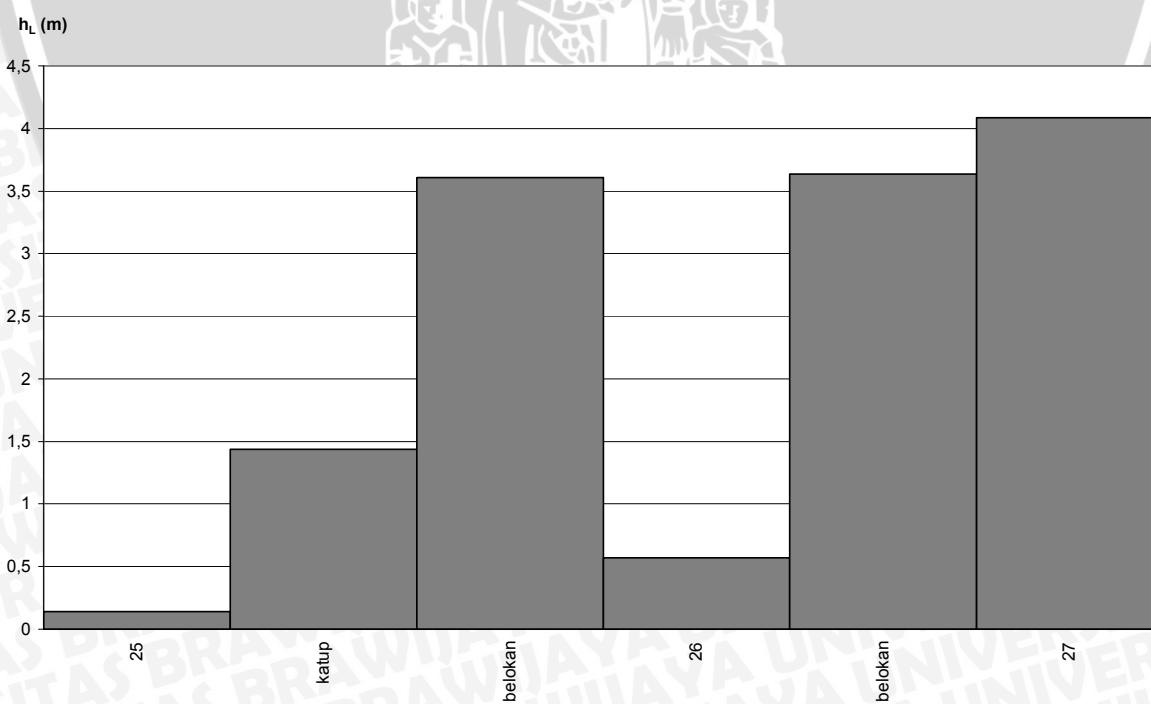
Grafik 33. Distribusi T saluran turbin *FWP. Yoshimine*



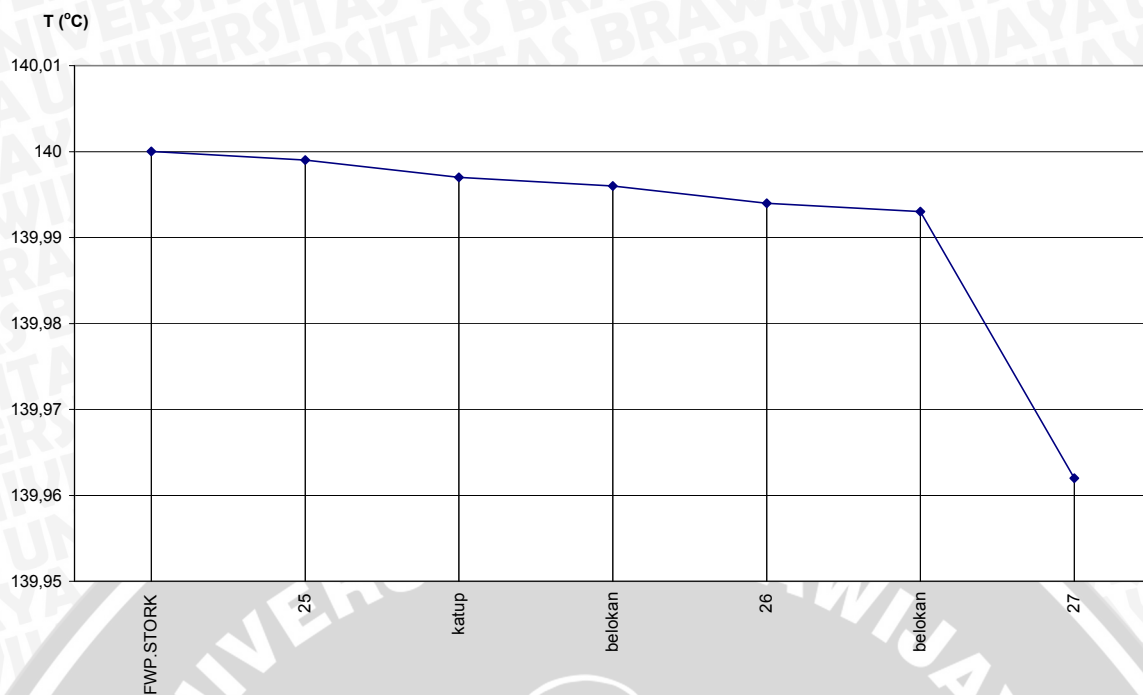
Grafik 34. *q* loss saluran turbin *FWP. Yoshimine*



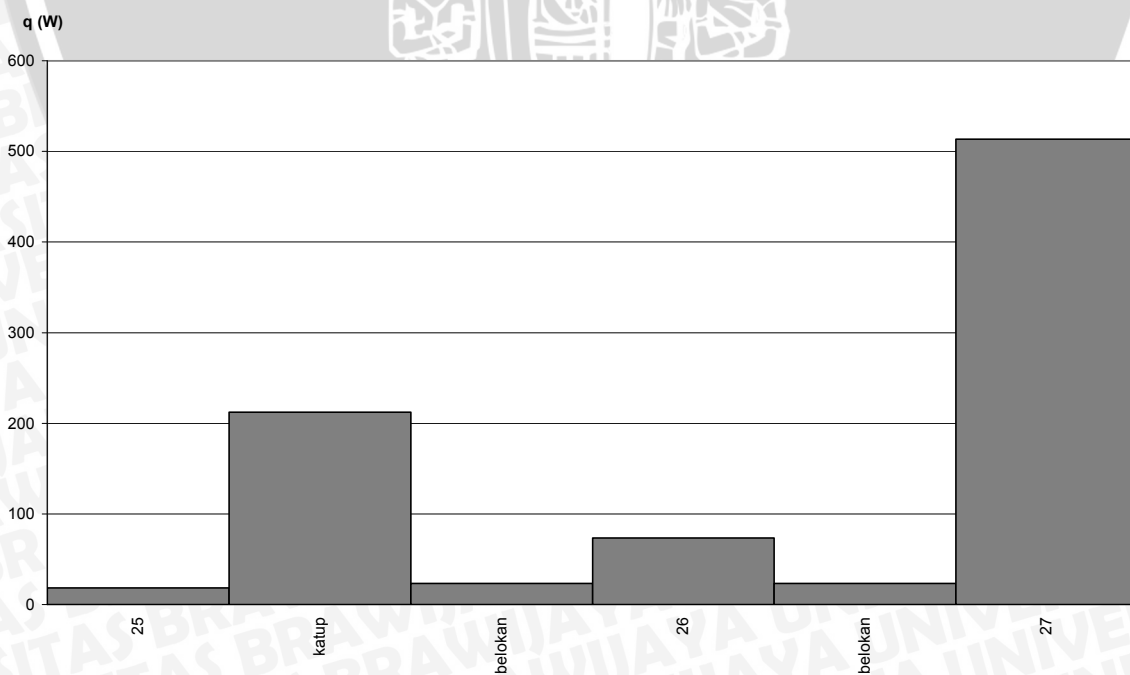
Grafik 35. Distribusi p saluran turbin *FWP. Stork*



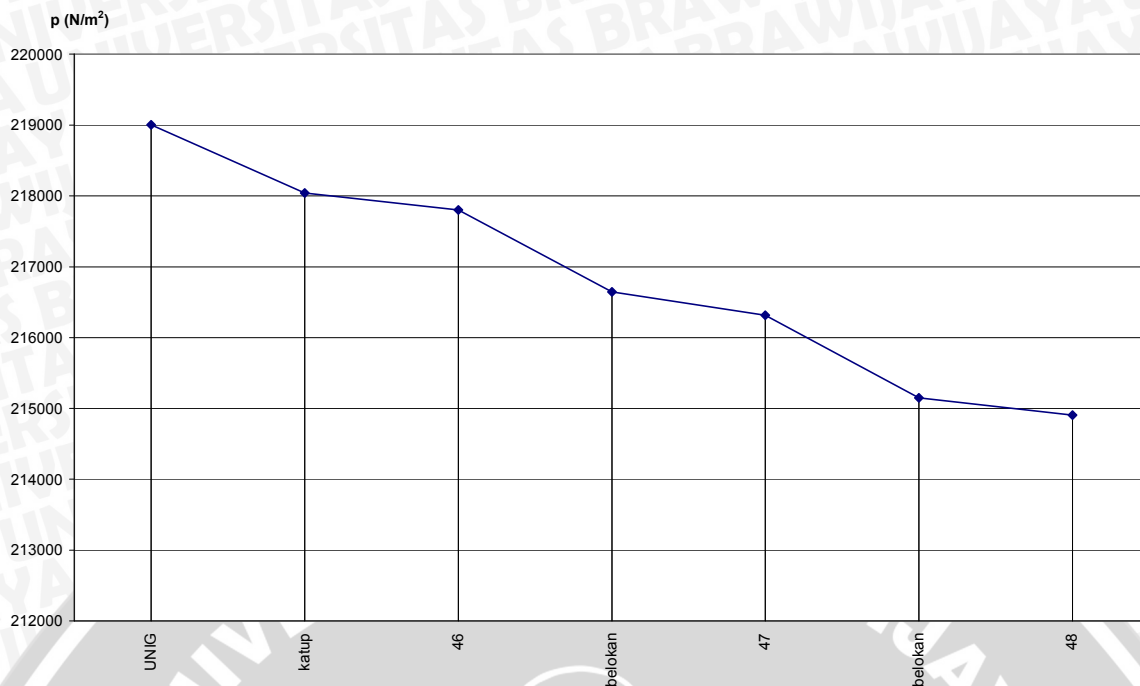
Grafik 36. *Head loss* saluran turbin *FWP. Stork*



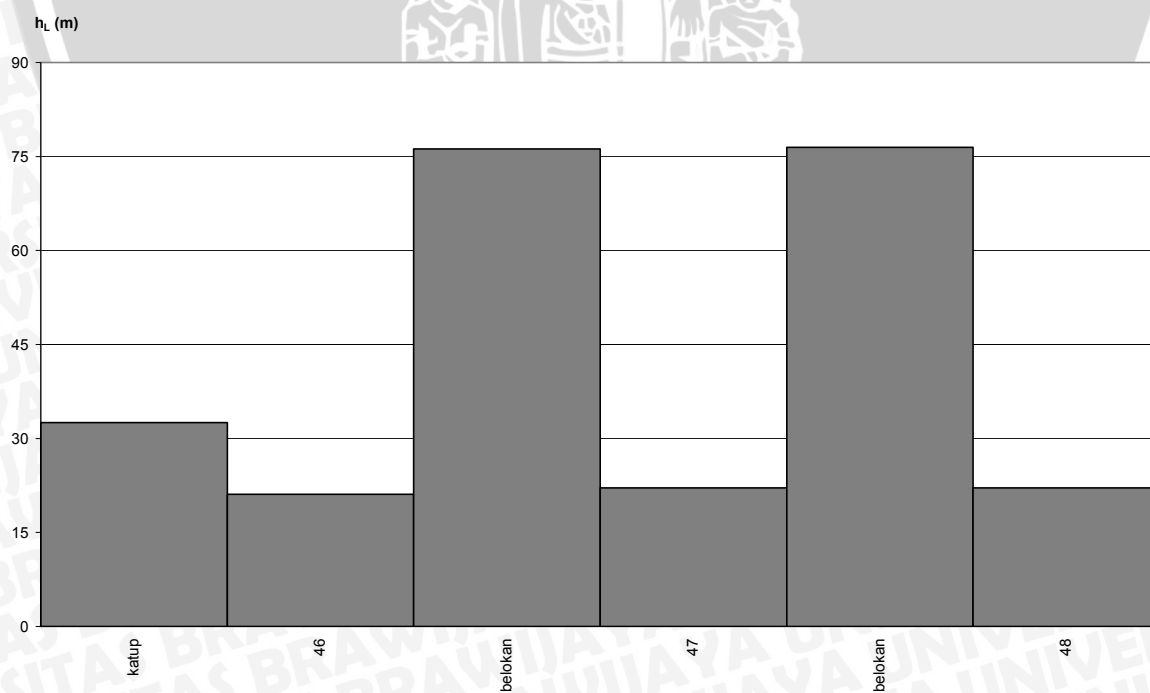
Grafik 37. Distribusi T saluran turbin *FWP. Stork*



Grafik 38. *q loss* saluran turbin *FWP. Stork*



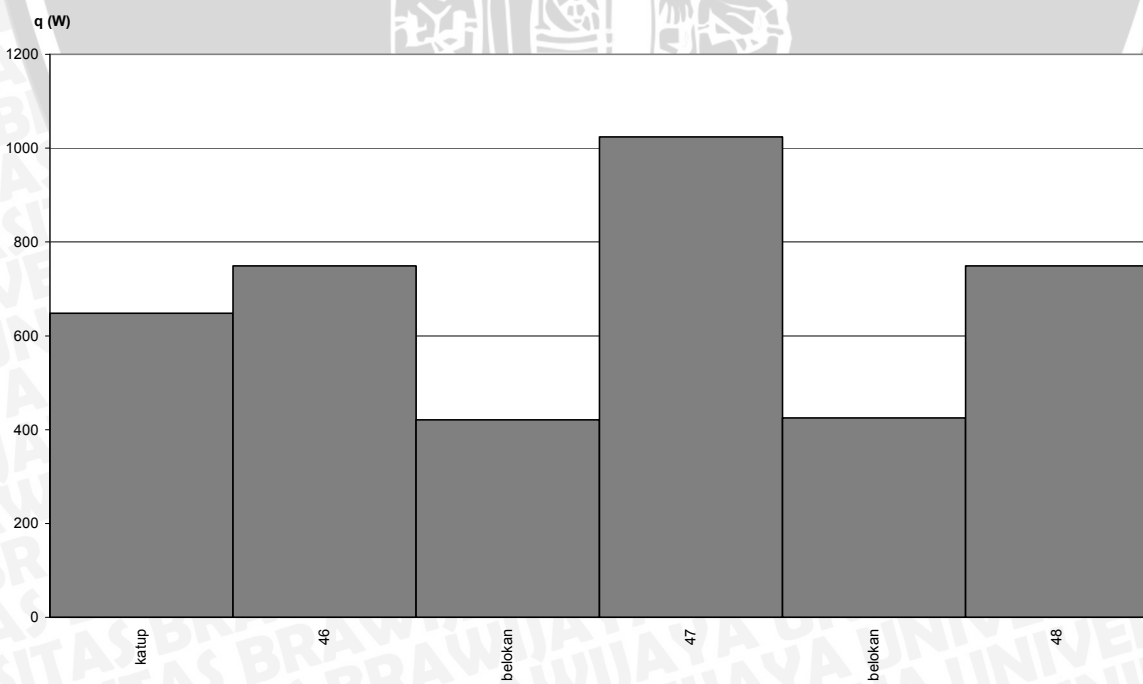
Grafik 39. Distribusi p saluran turbin *unigrator*



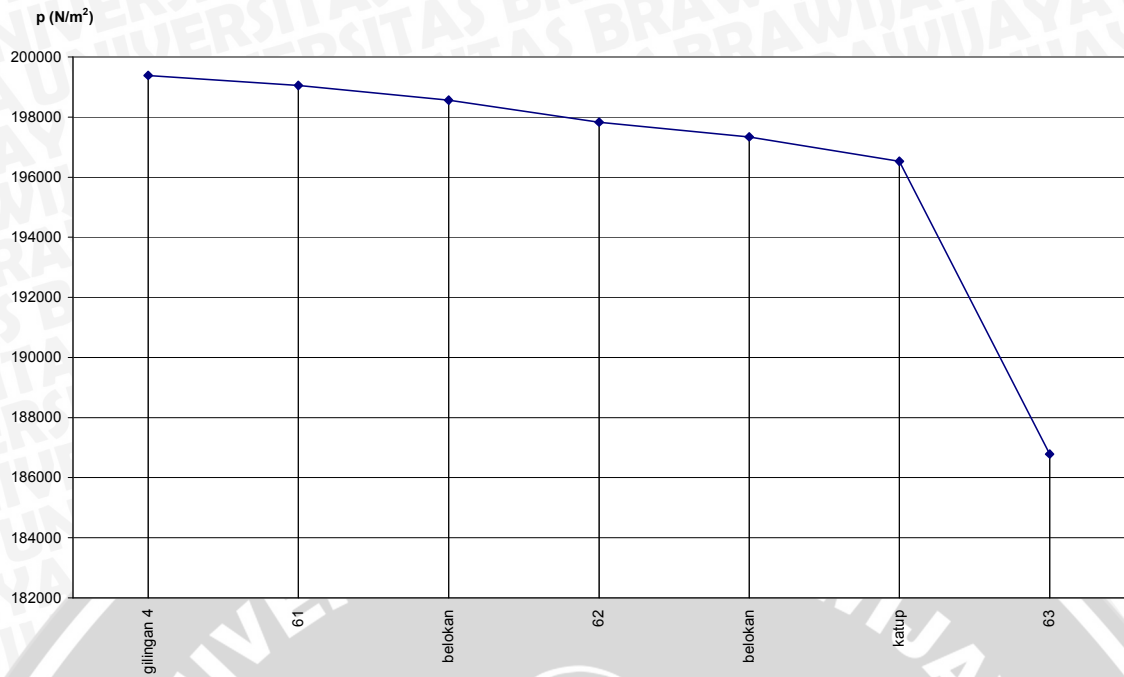
Grafik 40. Head loss saluran turbin *unigrator*



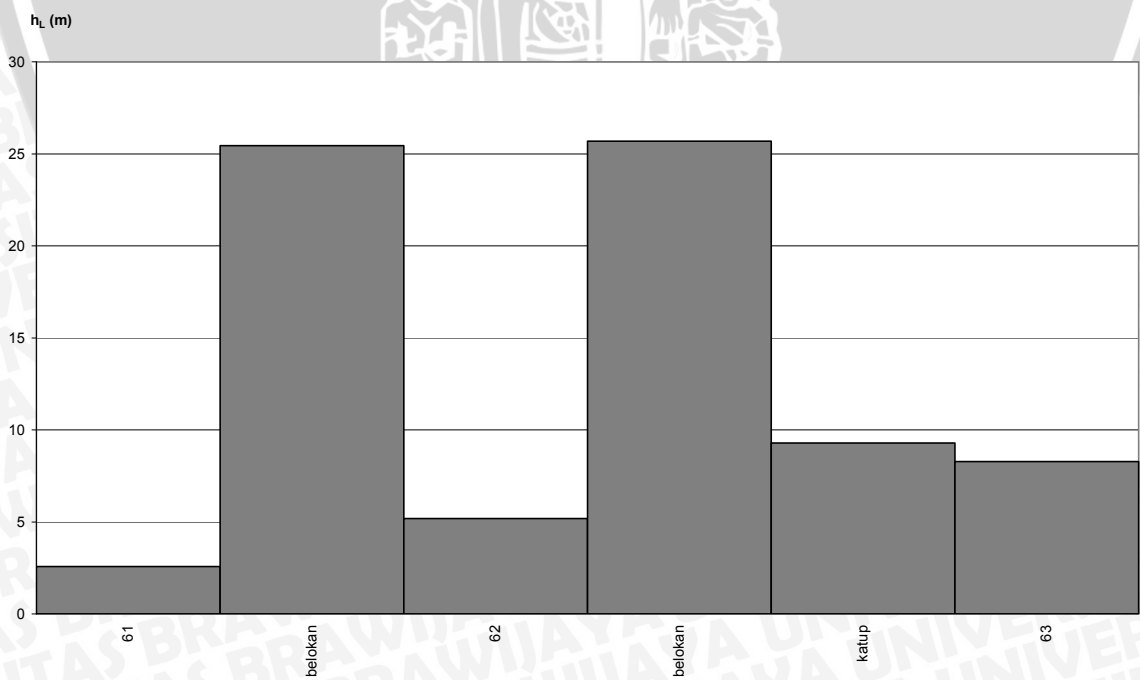
Grafik 41. Distribusi T saluran turbin *unigrator*



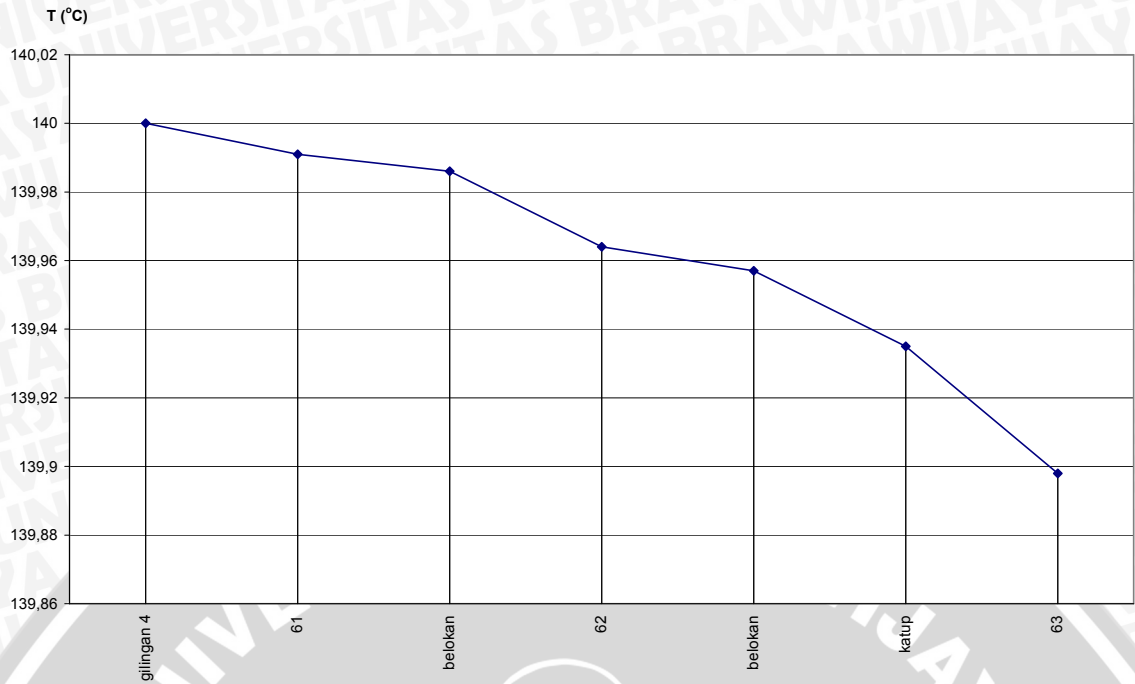
Grafik 42. *q loss* saluran turbin *unigrator*



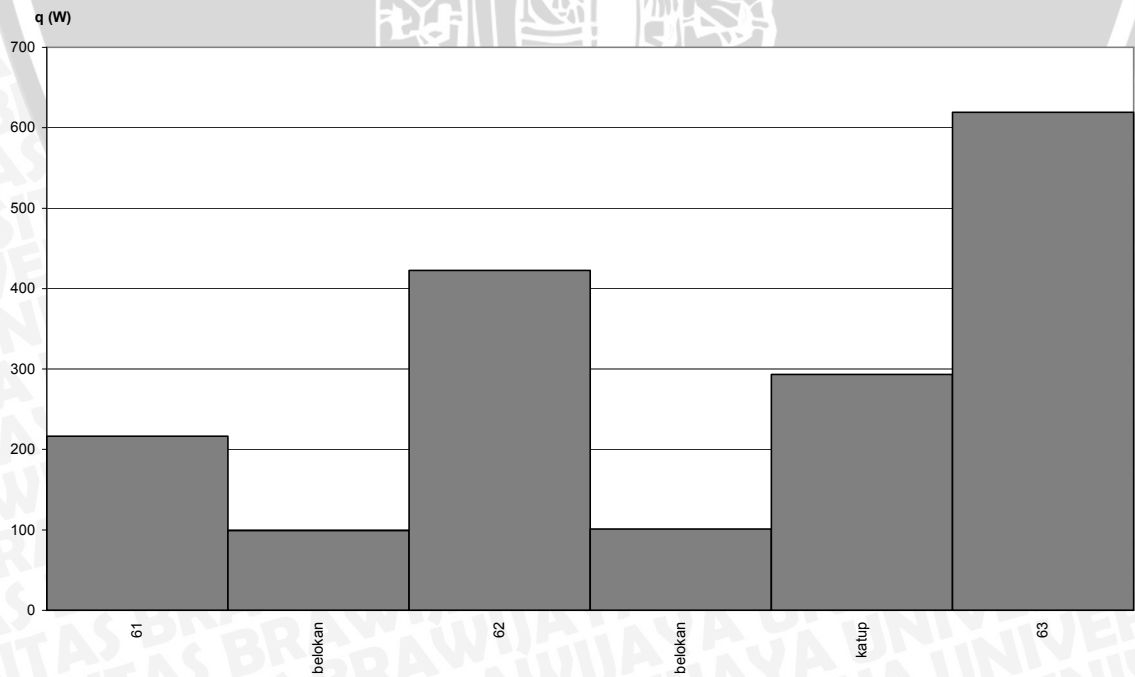
Grafik 43. Distribusi p saluran turbin gilingan 4



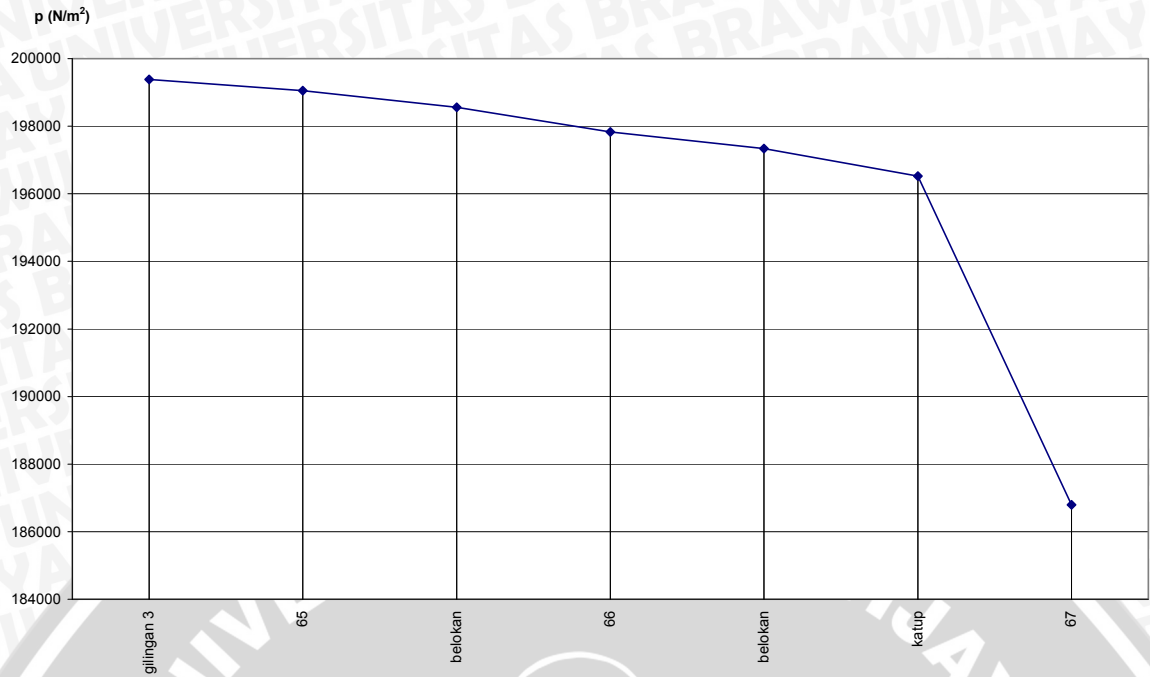
Grafik 44. Head loss saluran turbin gilingan 4



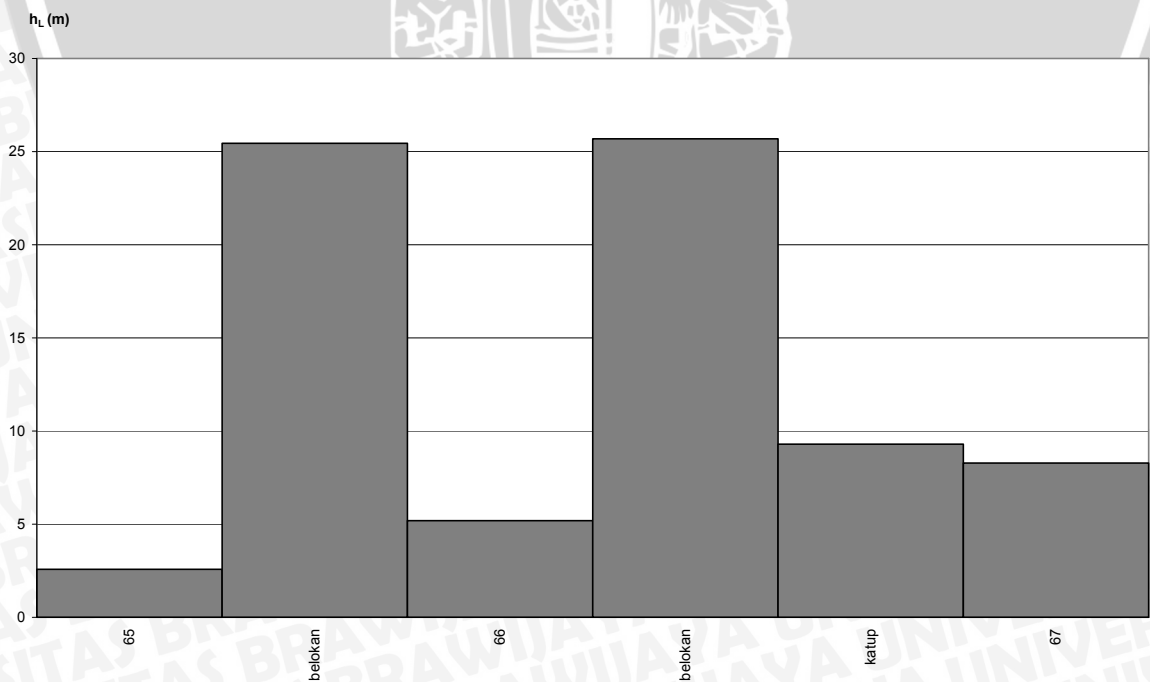
Grafik 45. Distribusi T saluran turbin gilingan 4



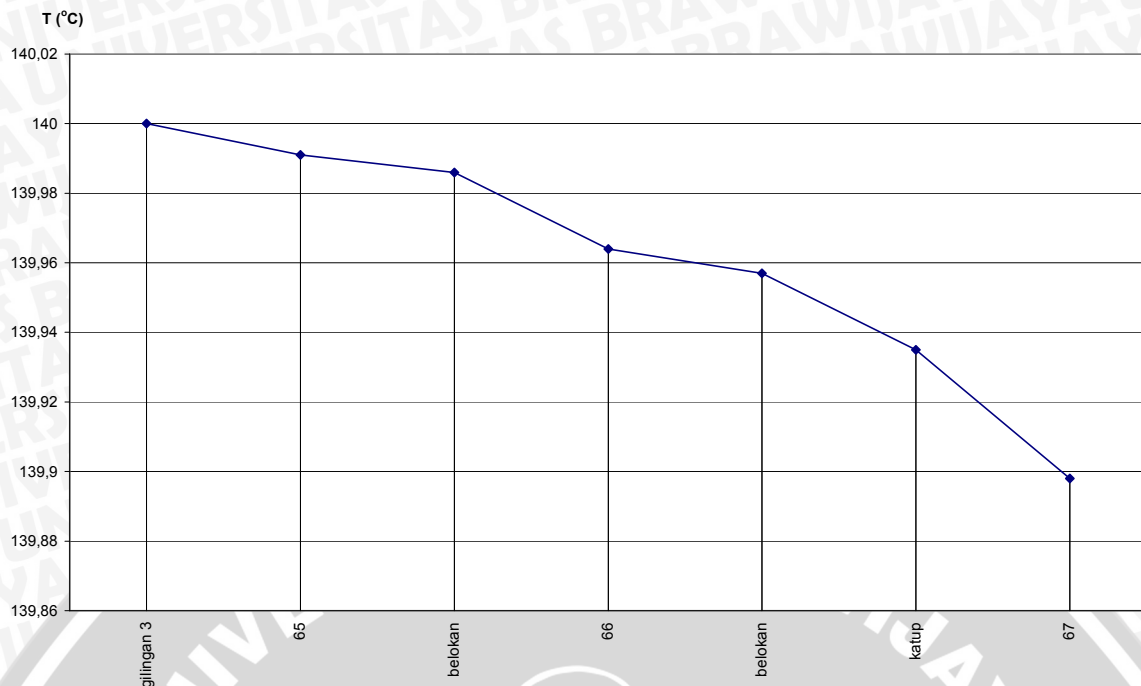
Grafik 46. q loss saluran turbin gilingan 4



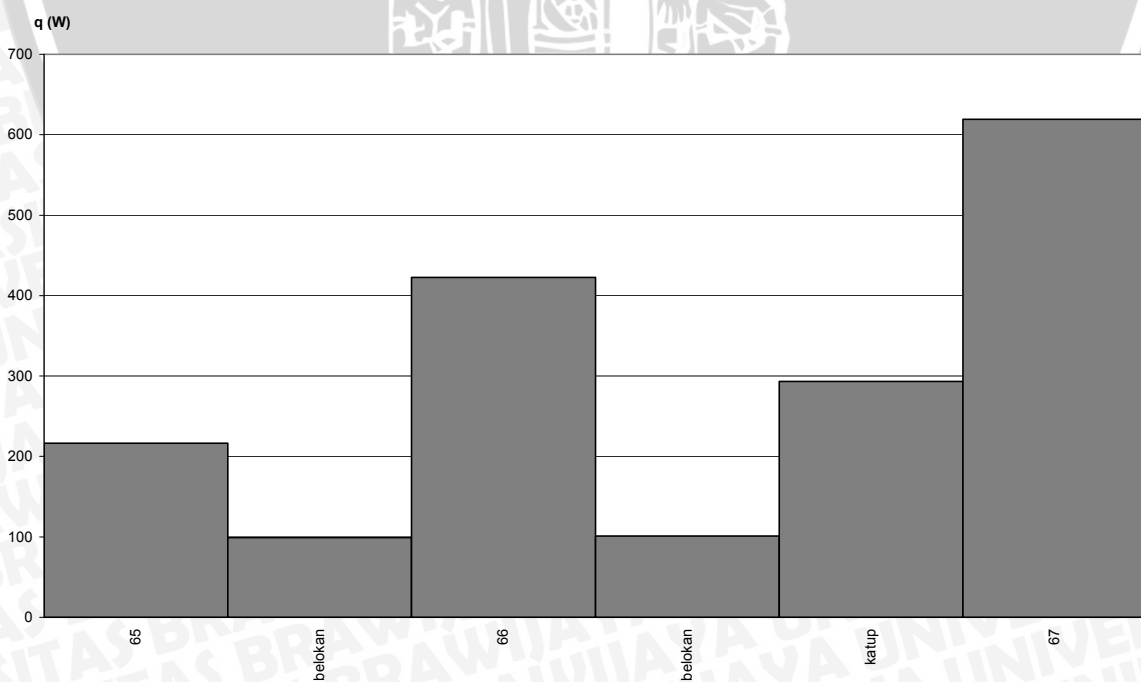
Grafik 47. Distribusi p saluran turbin gilingan 3



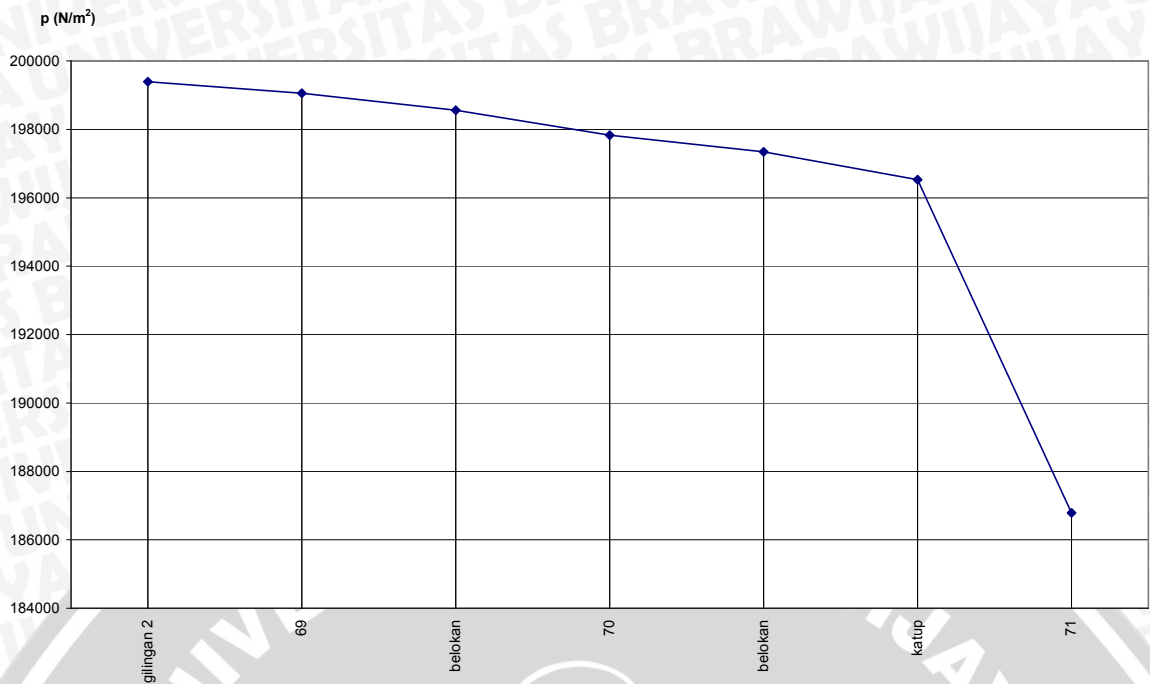
Grafik 48. Head loss saluran turbin gilingan 3



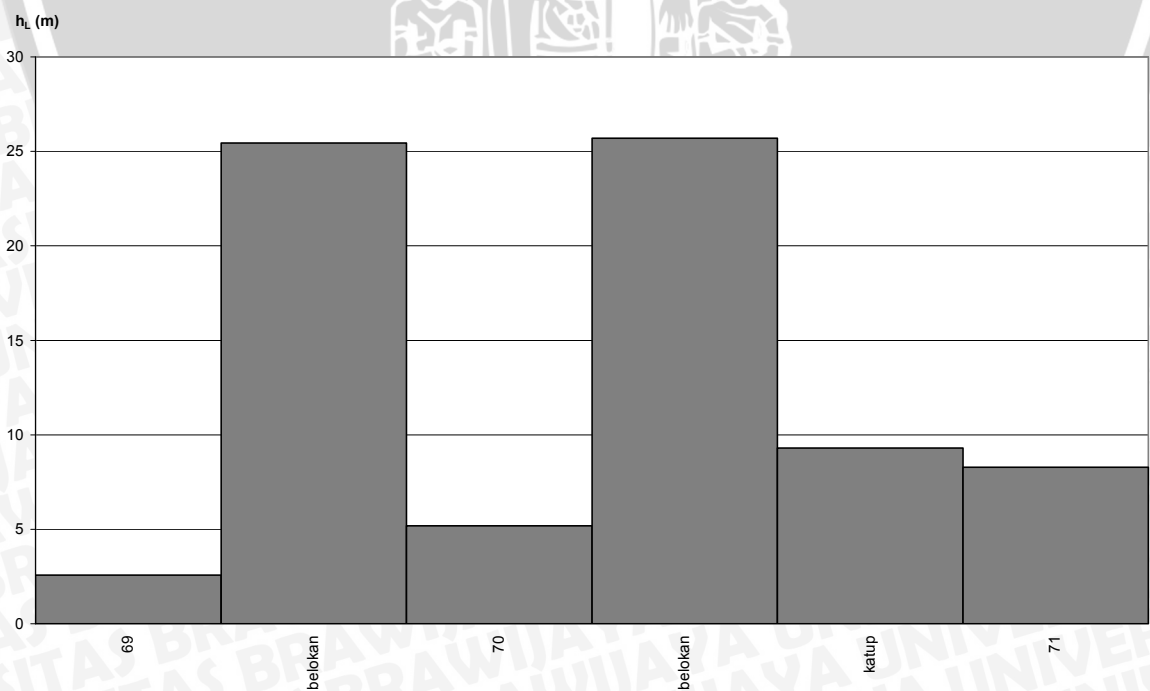
Grafik 49. Distribusi T saluran turbin gilingan 3



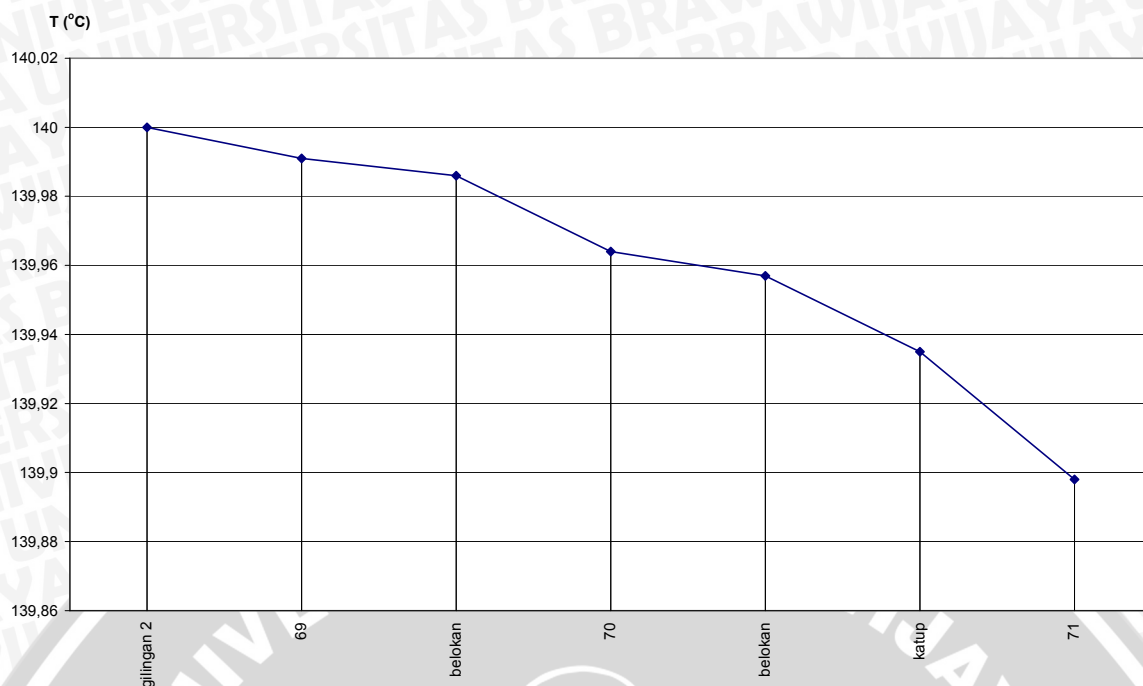
Grafik 50. q loss saluran turbin gilingan 3



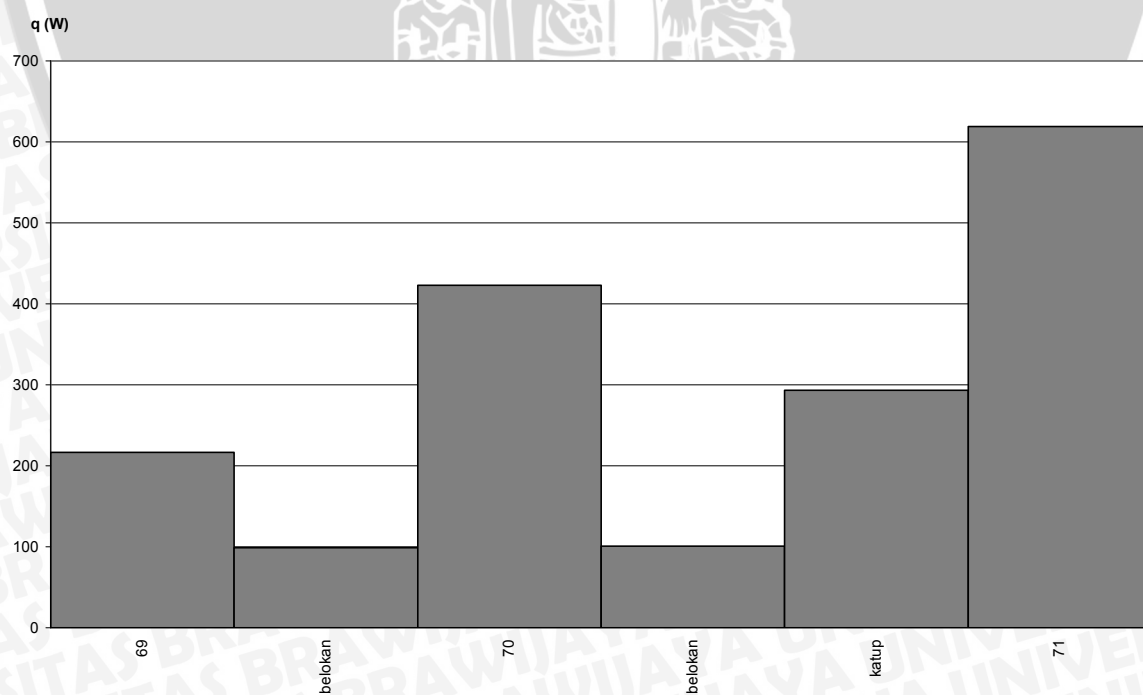
Grafik 51. Distribusi p saluran turbin gilingan 2



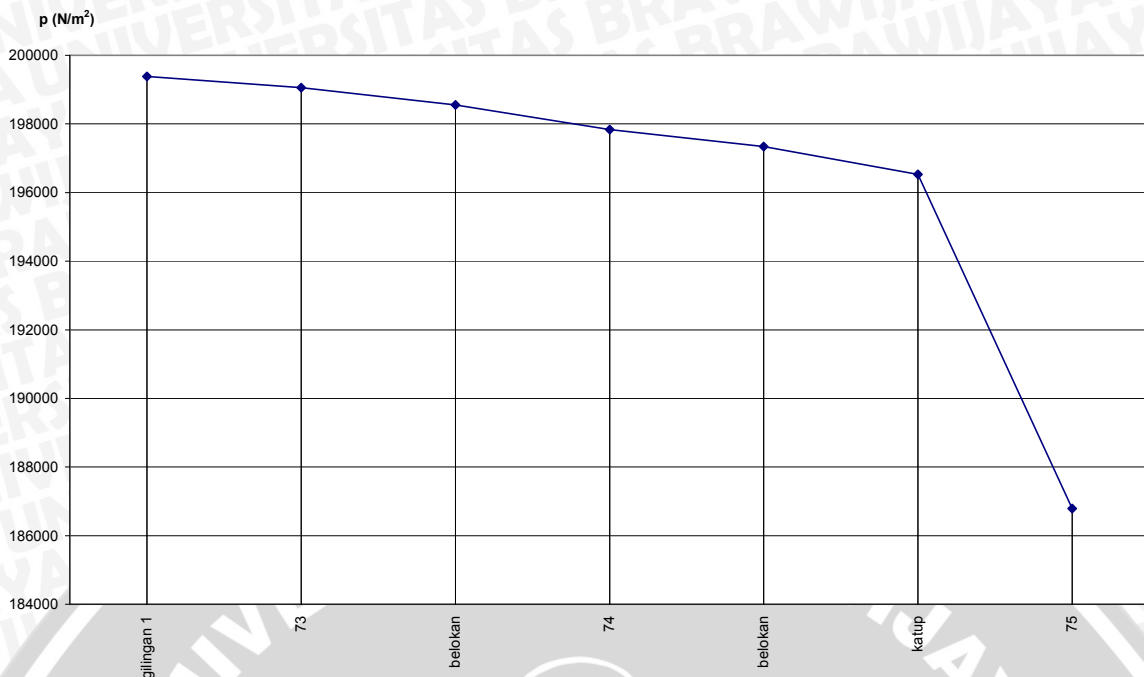
Grafik 52. Head loss saluran turbin gilingan 2



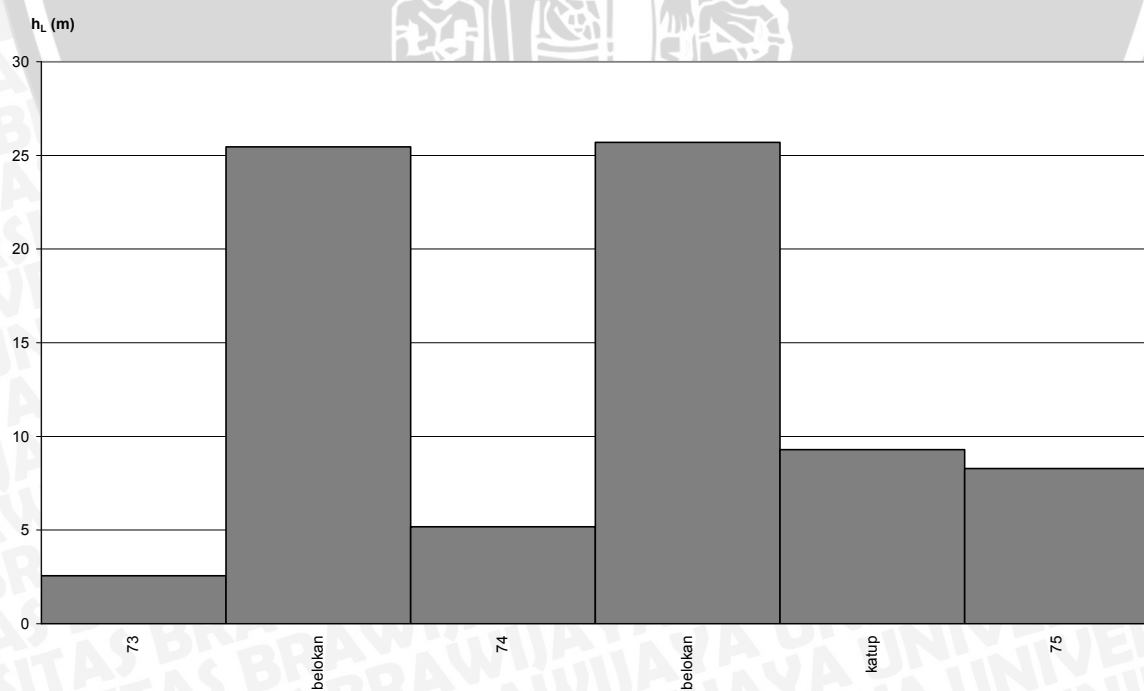
Grafik 53. Distribusi T saluran turbin gilingan 2



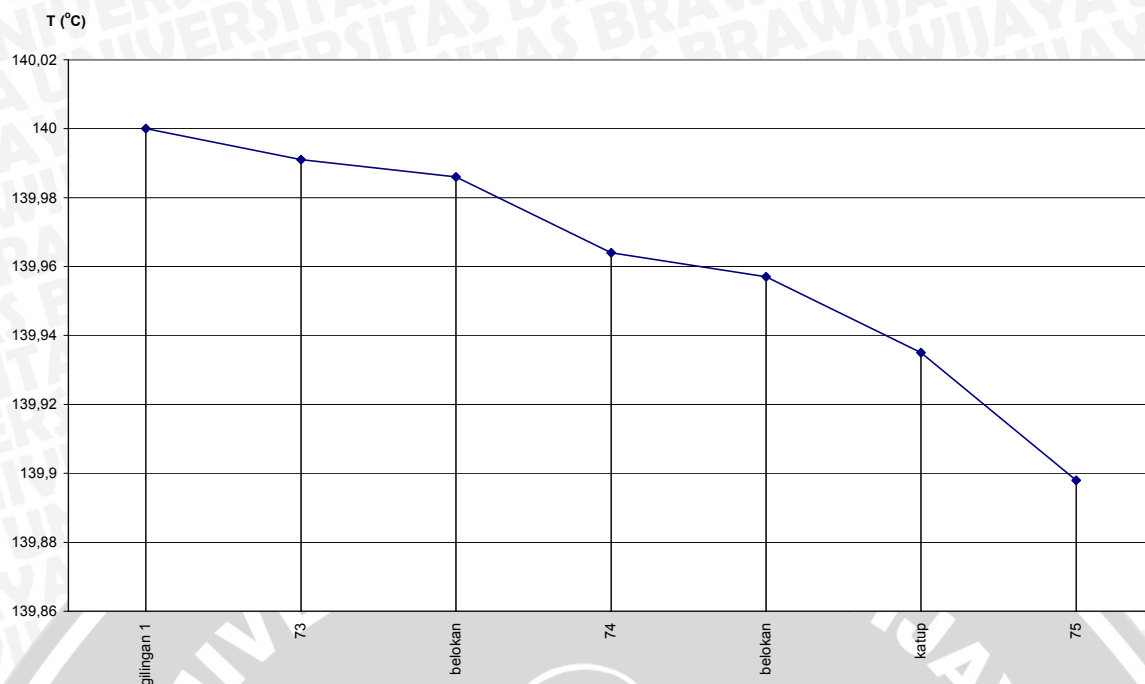
Grafik 54. q loss saluran turbin gilingan 2



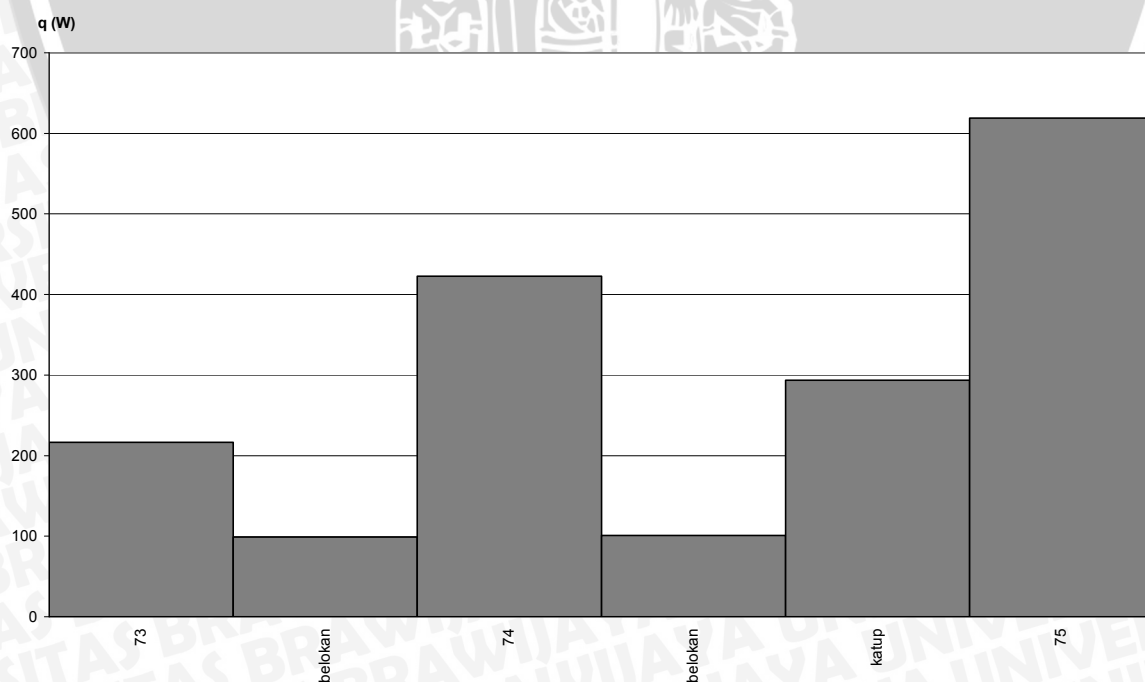
Grafik 55. Distribusi p saluran turbin gilingan 1



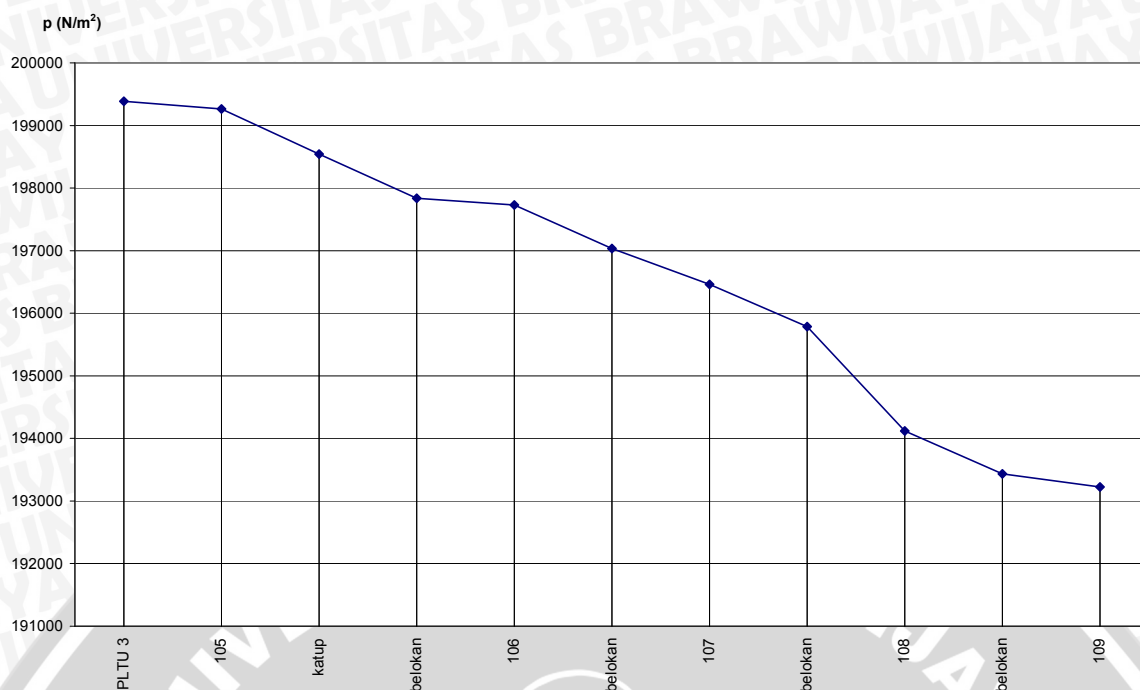
Grafik 56. Head loss saluran turbin gilingan 1



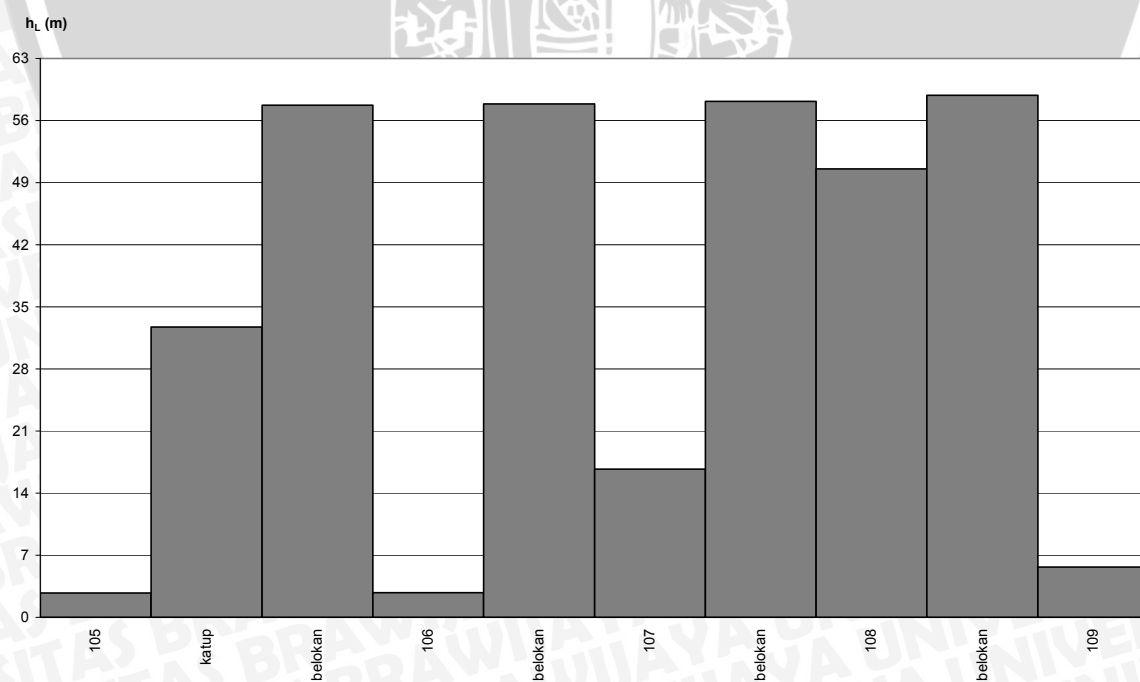
Grafik 57. Distribusi T saluran turbin gilingan 1



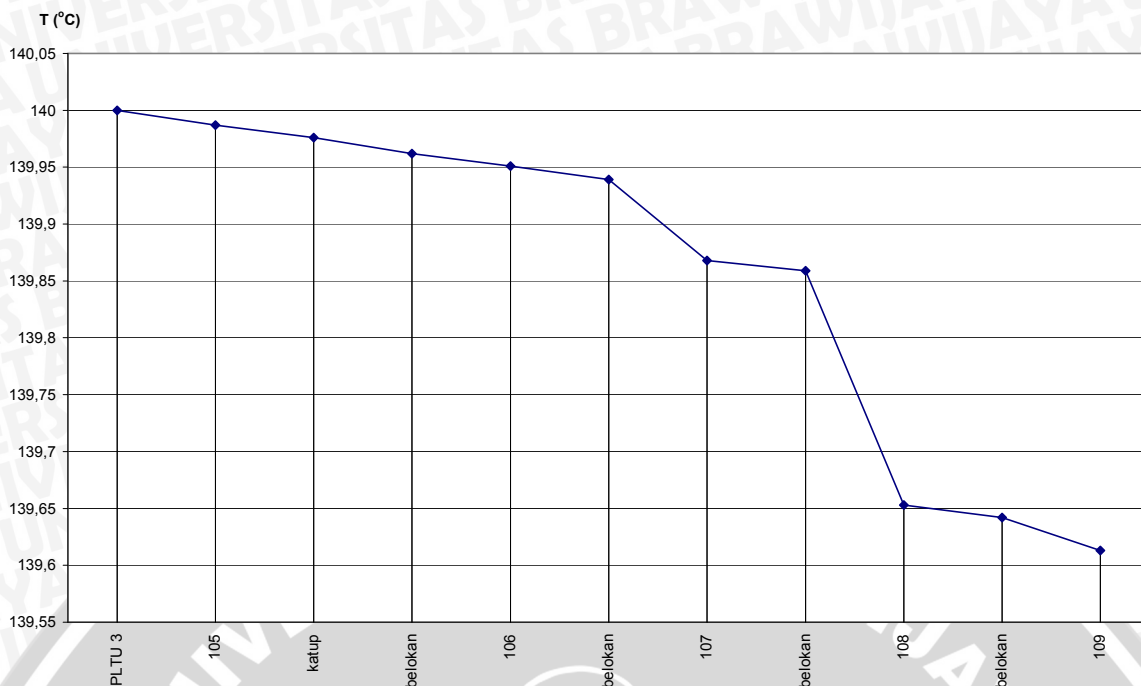
Grafik 58. q loss saluran turbin gilingan 1



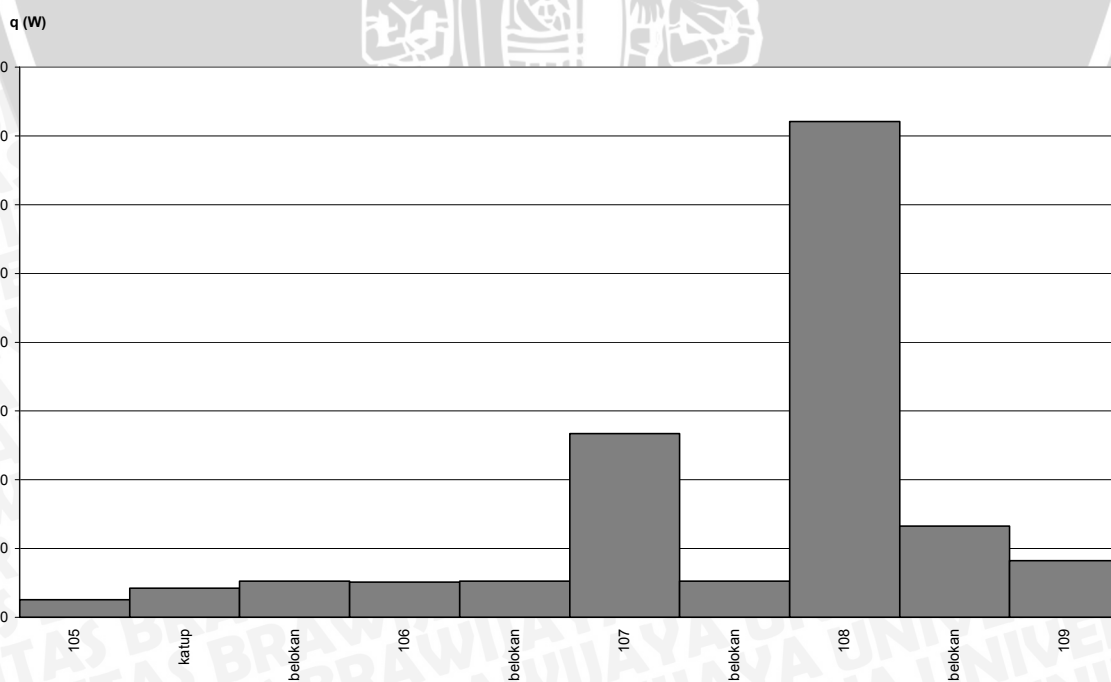
Grafik 59. Distribusi p saluran PLTU 3



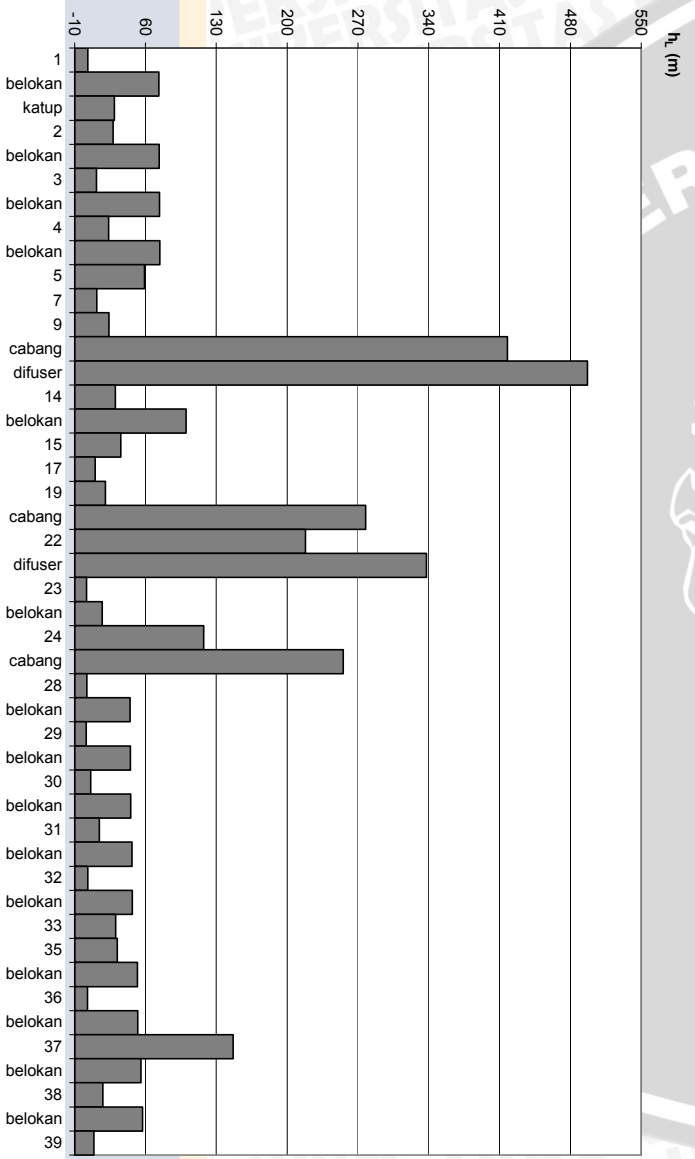
Grafik 60. Head loss saluran turbin PLTU 3



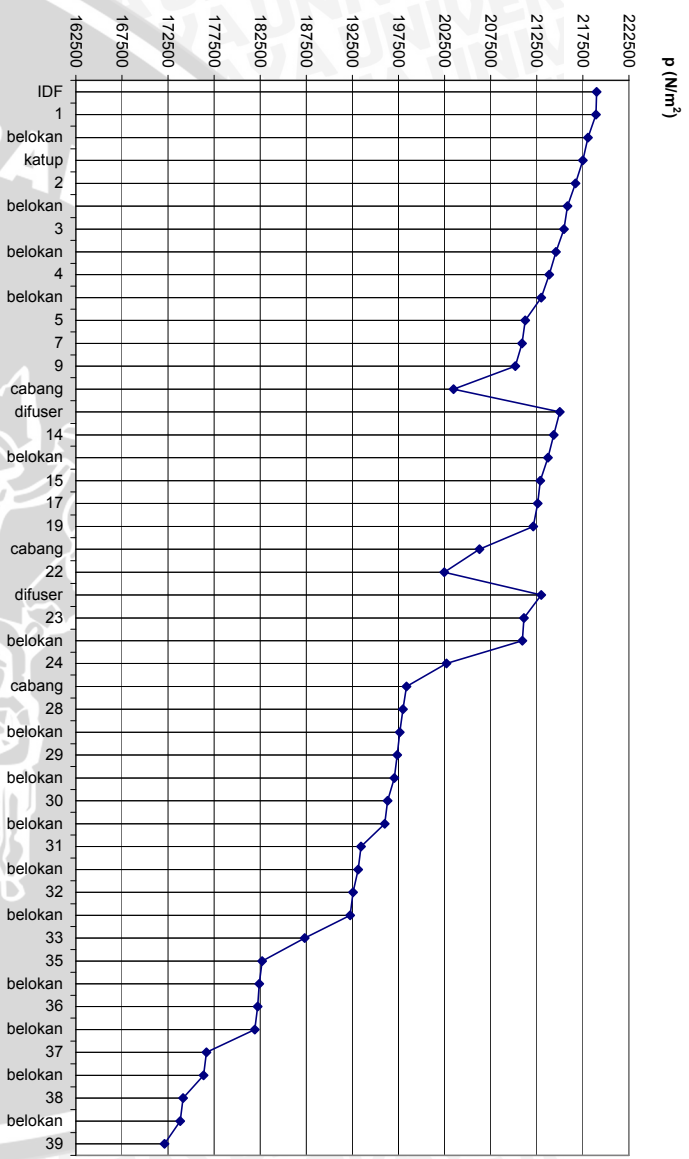
Grafik 61. Distribusi T saluran turbin PLTU 3



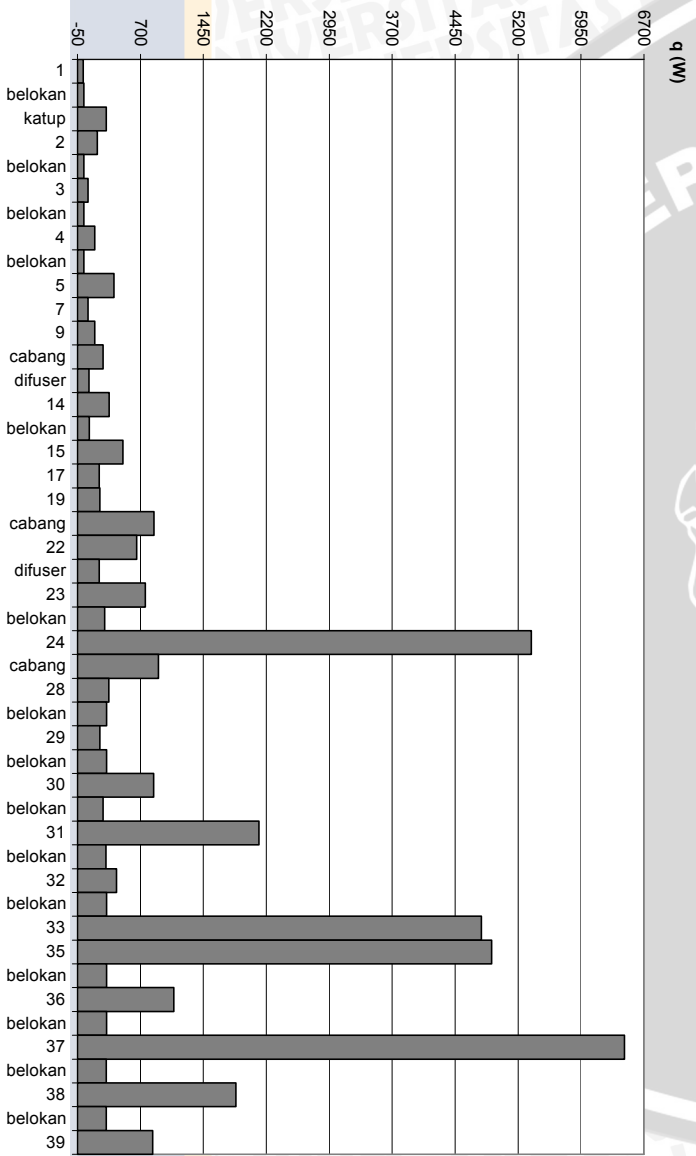
Grafik 62. q loss saluran turbin PLTU 3



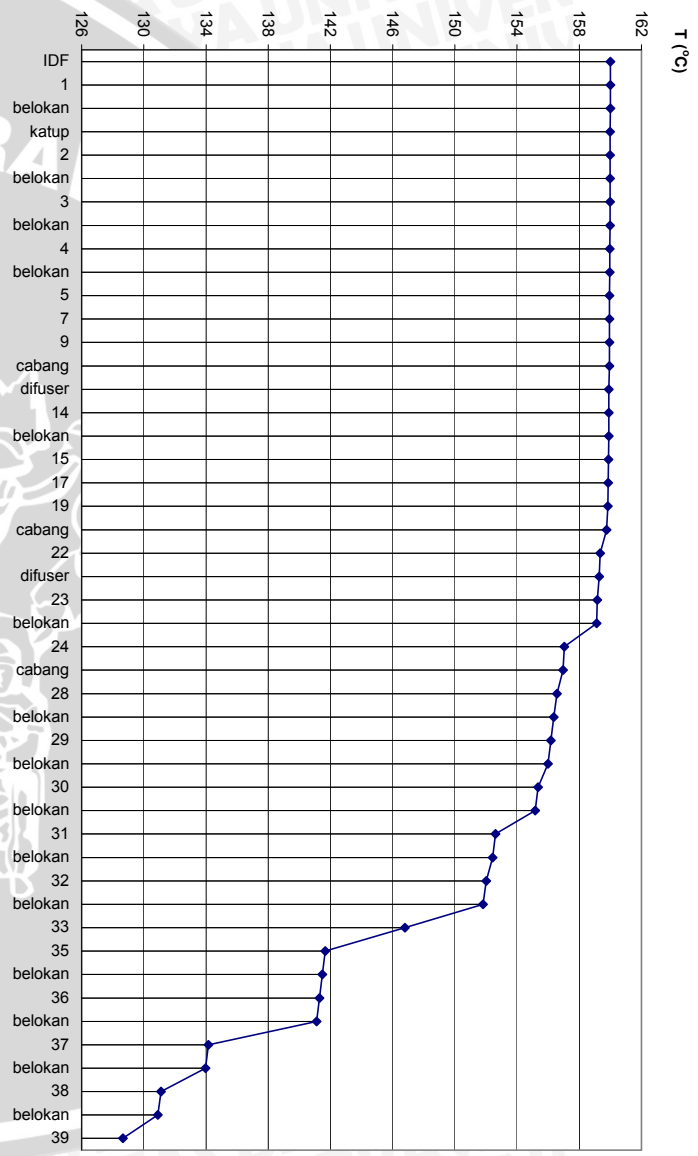
Grafik 64. Head loss modifikasi saluran turbin IDF



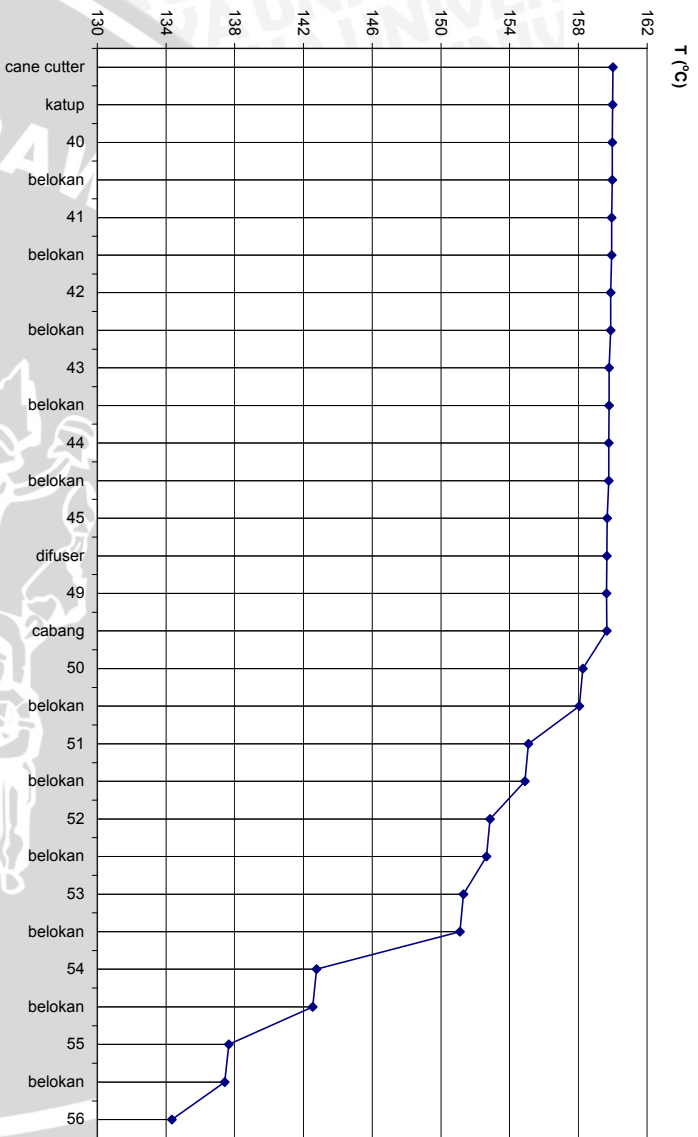
Grafik 63. Distribusi p modifikasi saluran turbin IDF



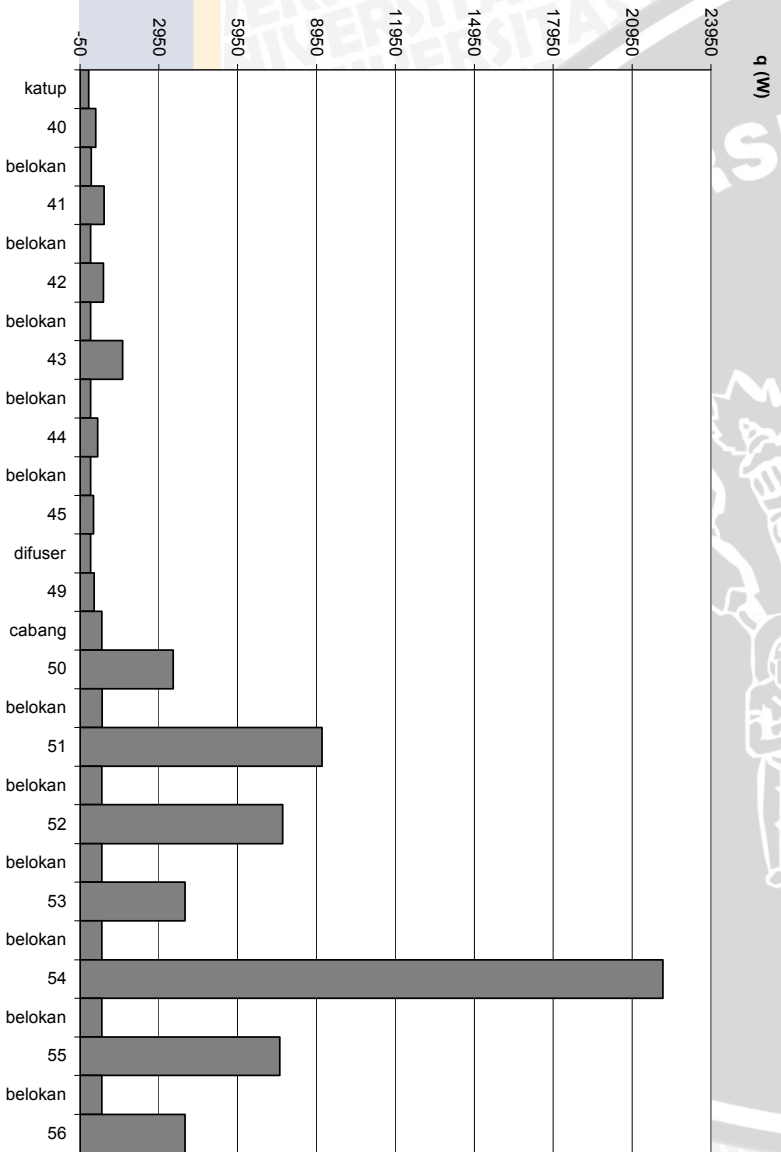
Grafik 66. q loss modifikasi saluran turbin IDF



Grafik 65. Distribusi T modifikasi saluran turbin IDF

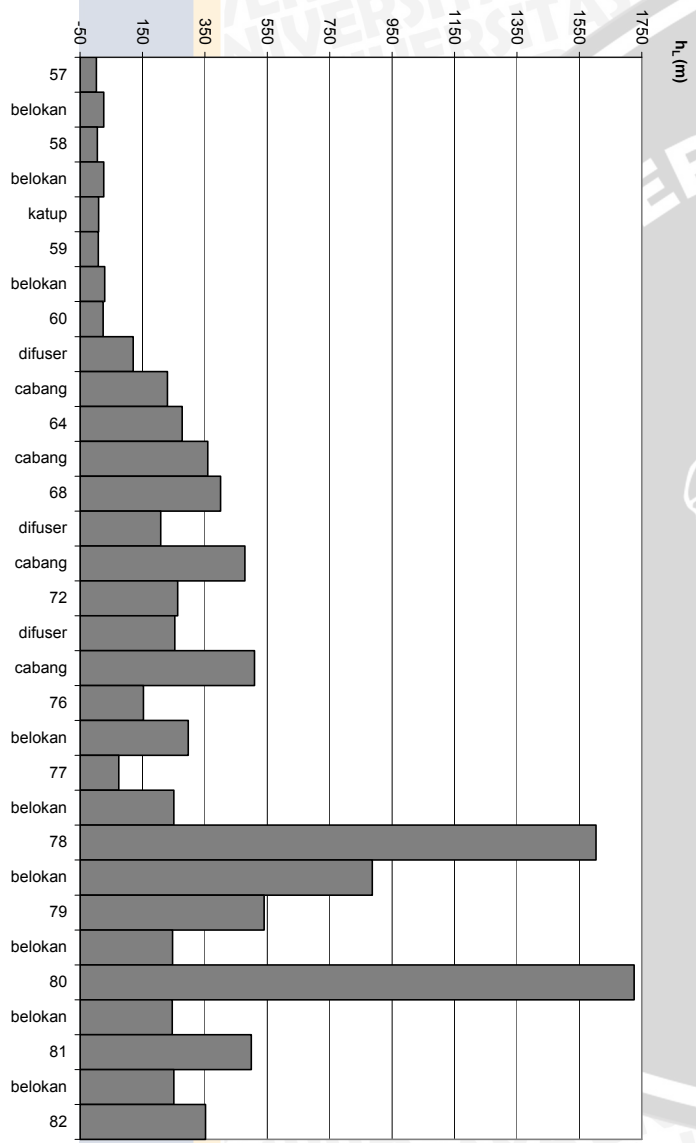


Grafik 69. Distribusi T modifikasi saluran *canine cutter*

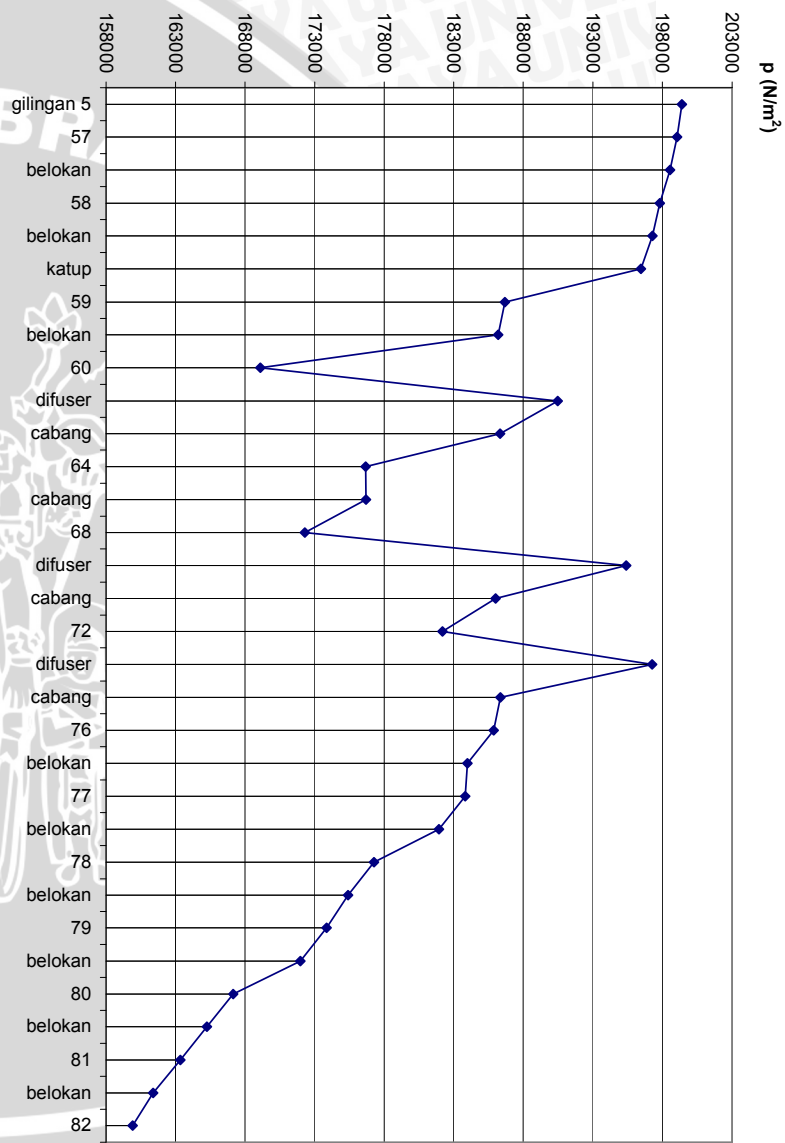


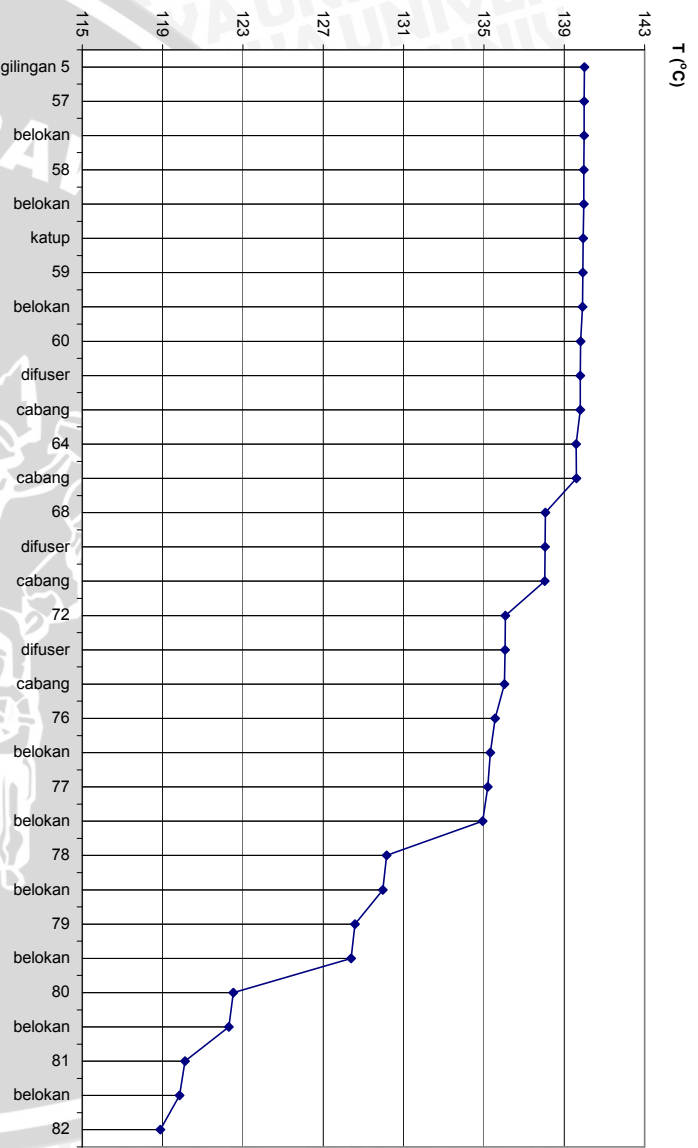
Grafik 70. *q loss* modifikasi saluran turbin *canoe cutter*

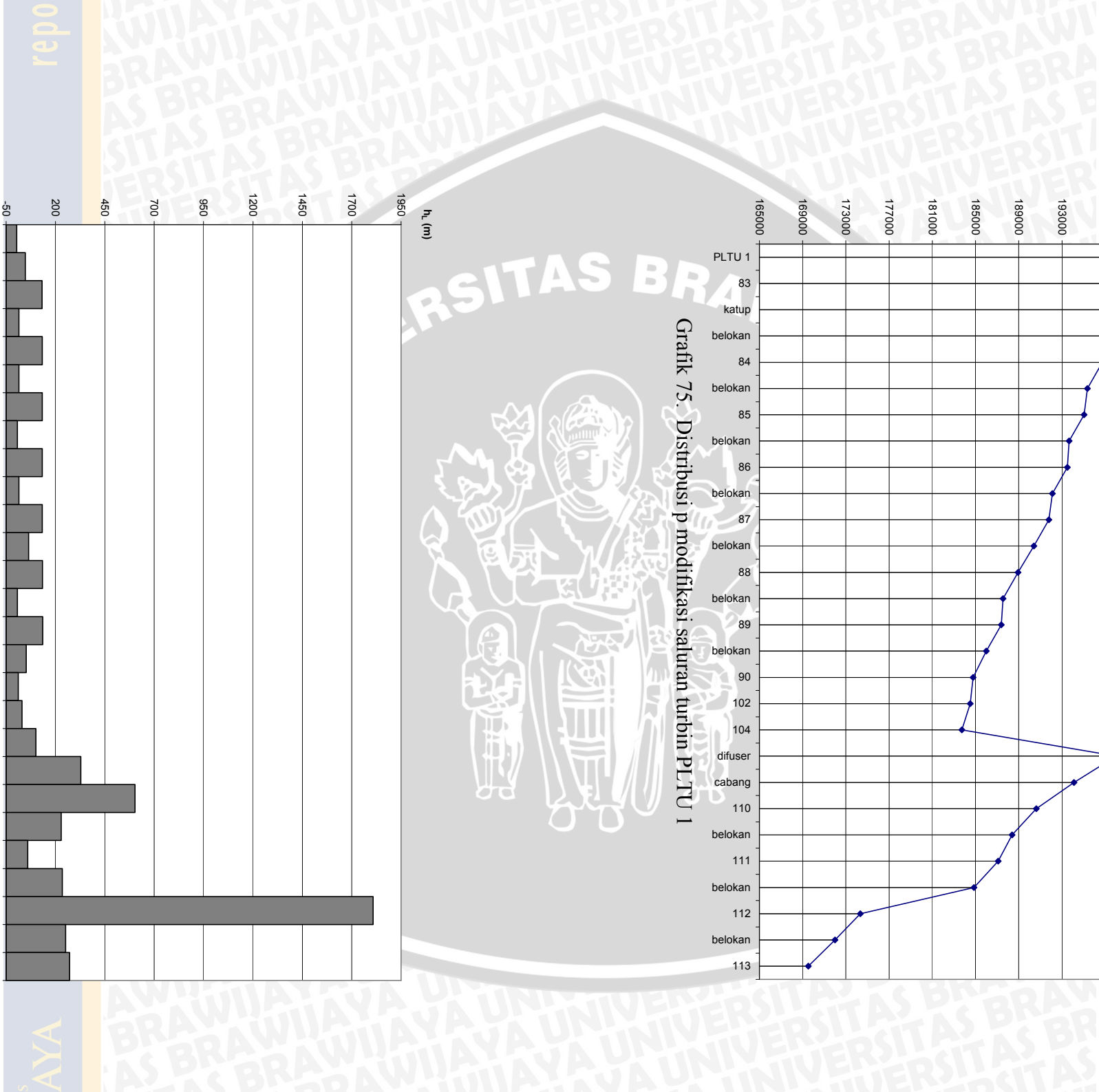
Grafik 72. Head loss modifikasi saluran turbin gilingan 5



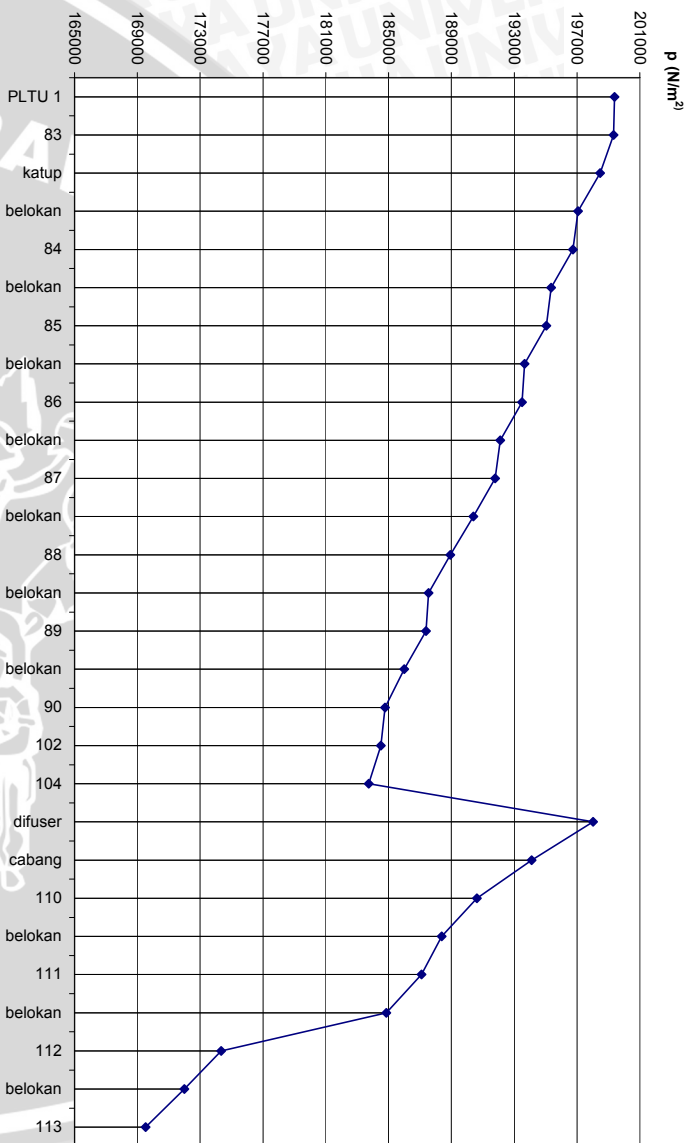
Grafik 71. Distribusi p modifikasi saluran turbin gilingan 5



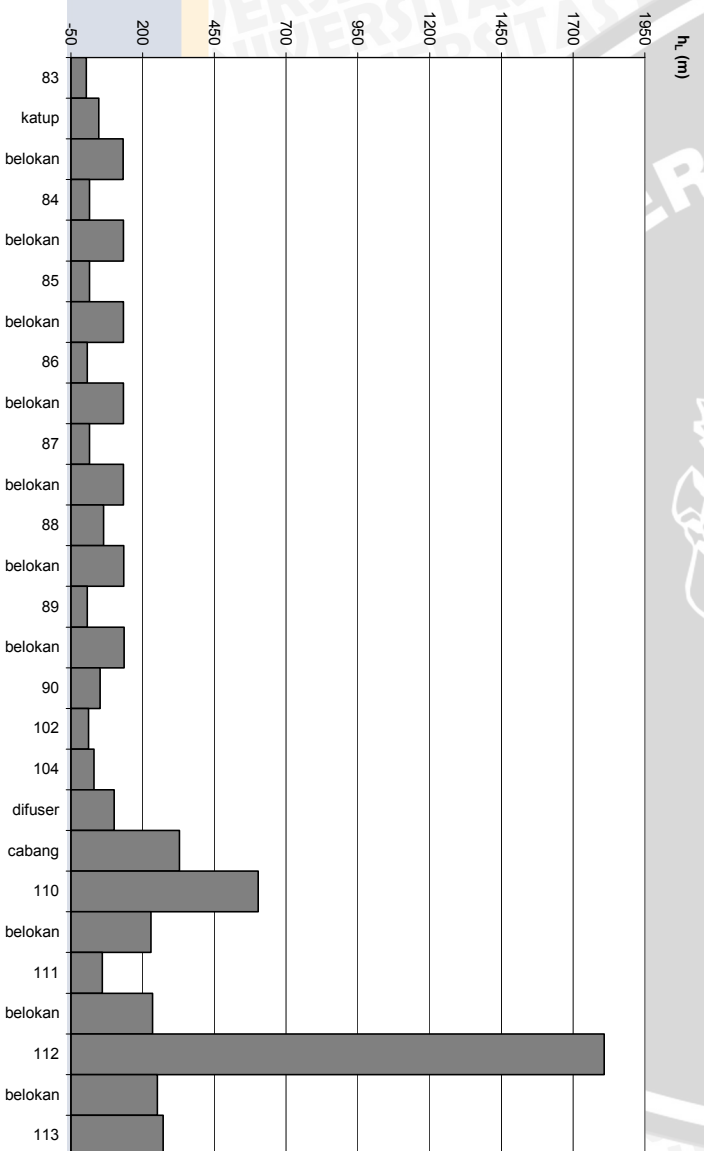


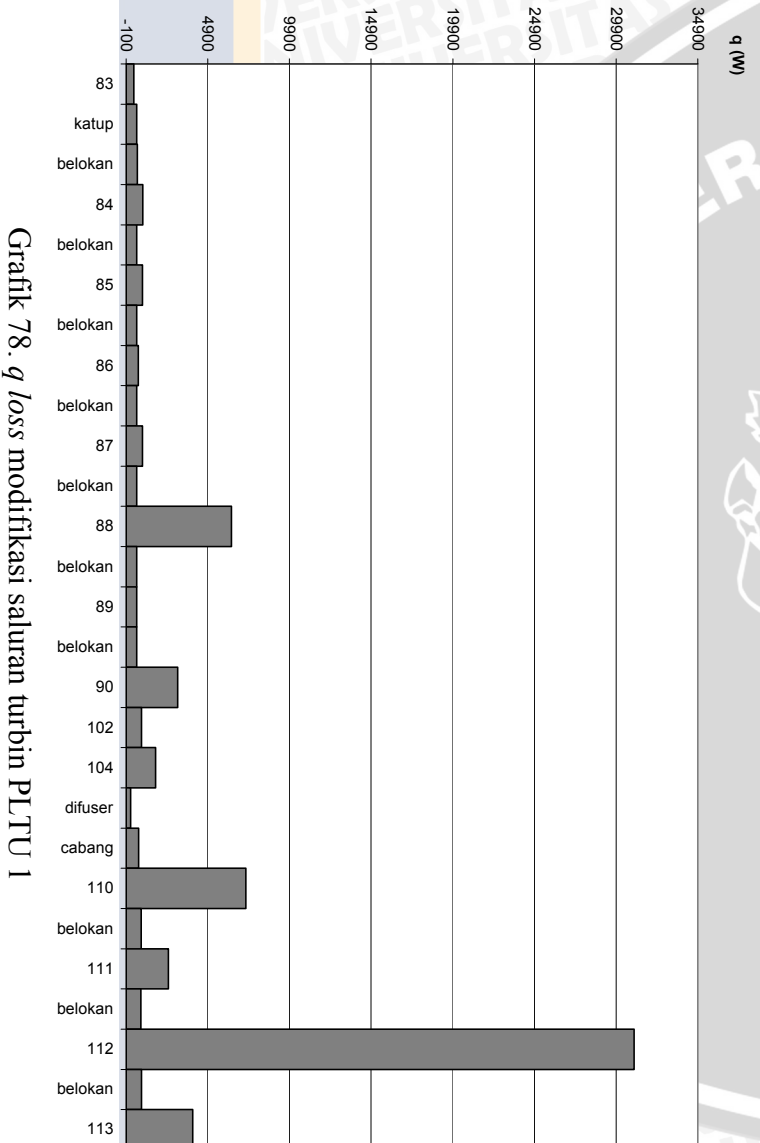
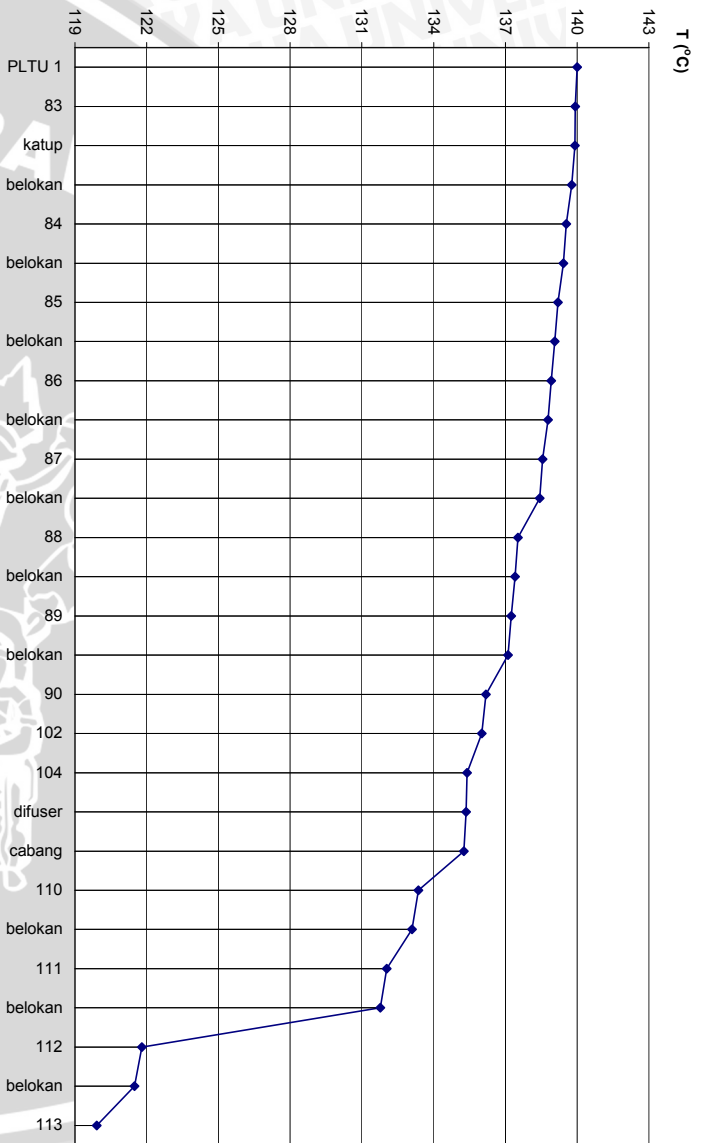


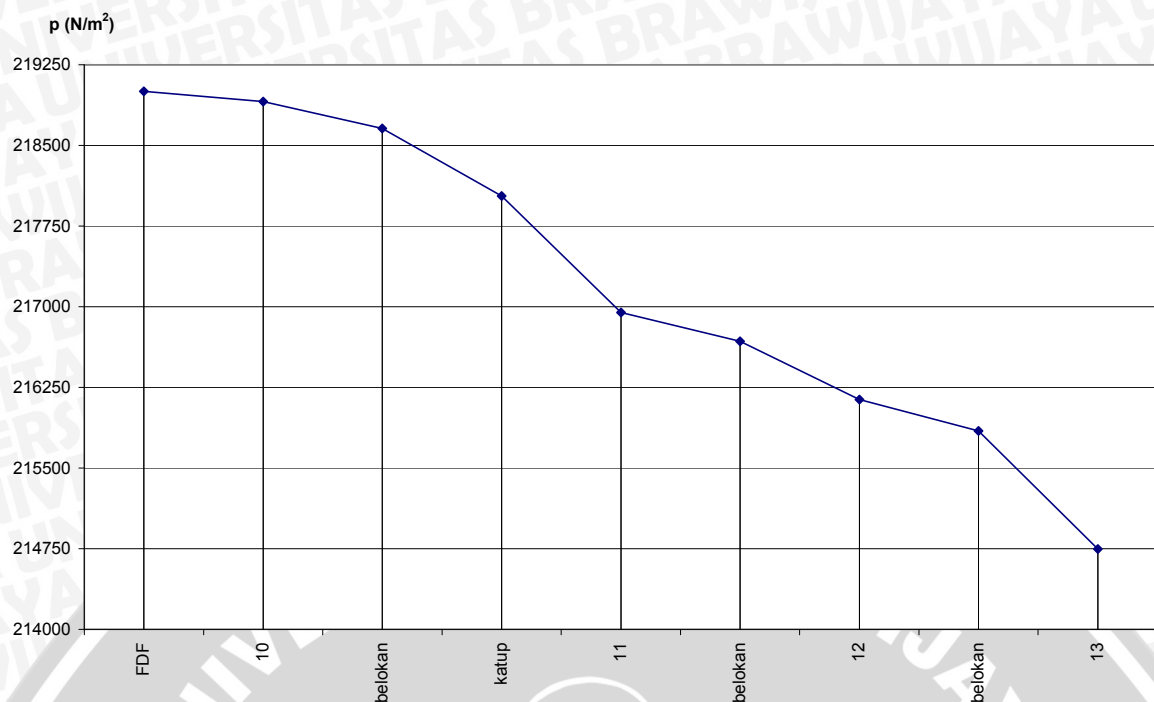
Grafik 75. Distribusi p modifikasi saluran turbin PLTU 1



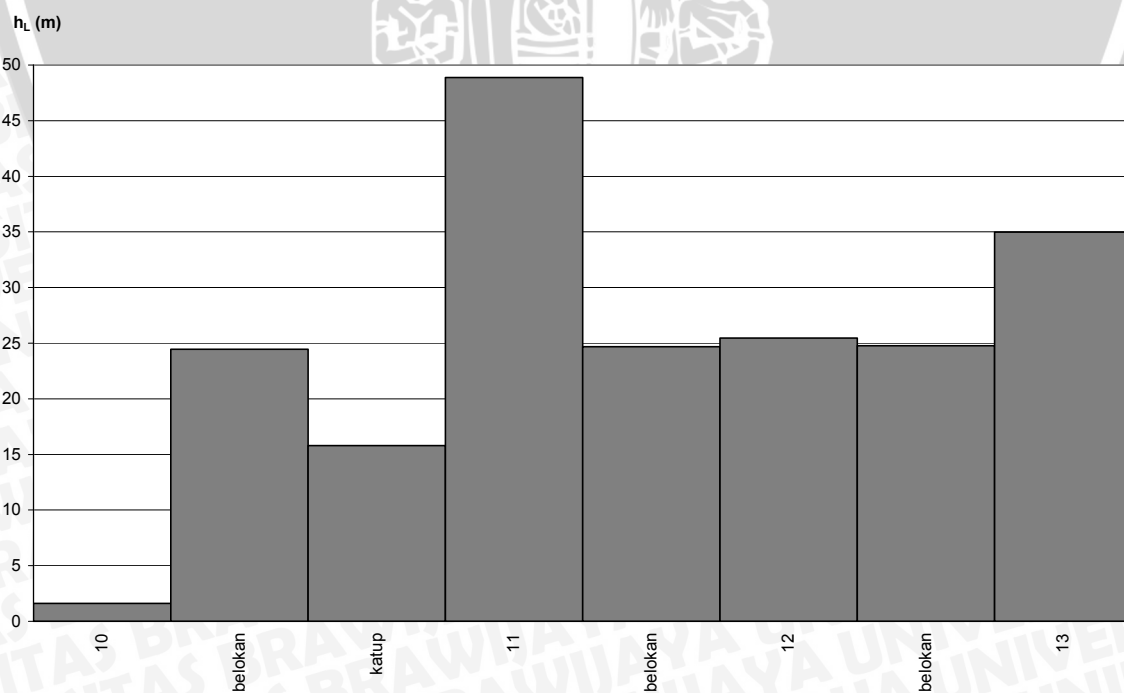
Grafik 76. Head loss modifikasi saluran turbin PLTU 1



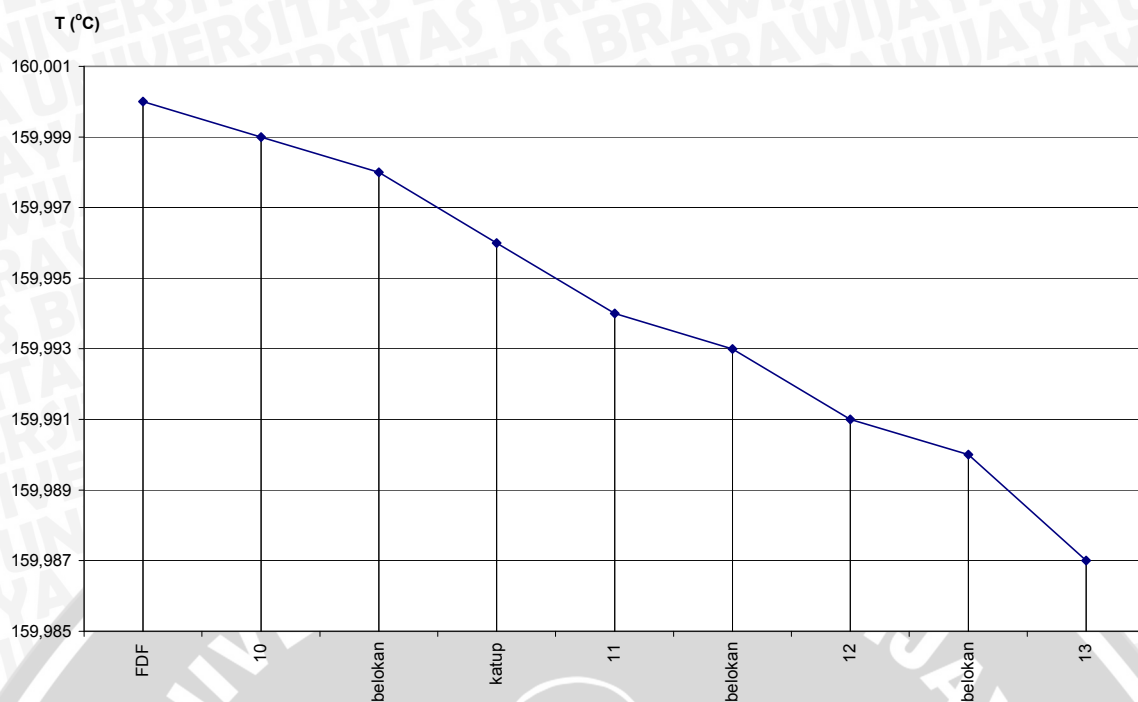




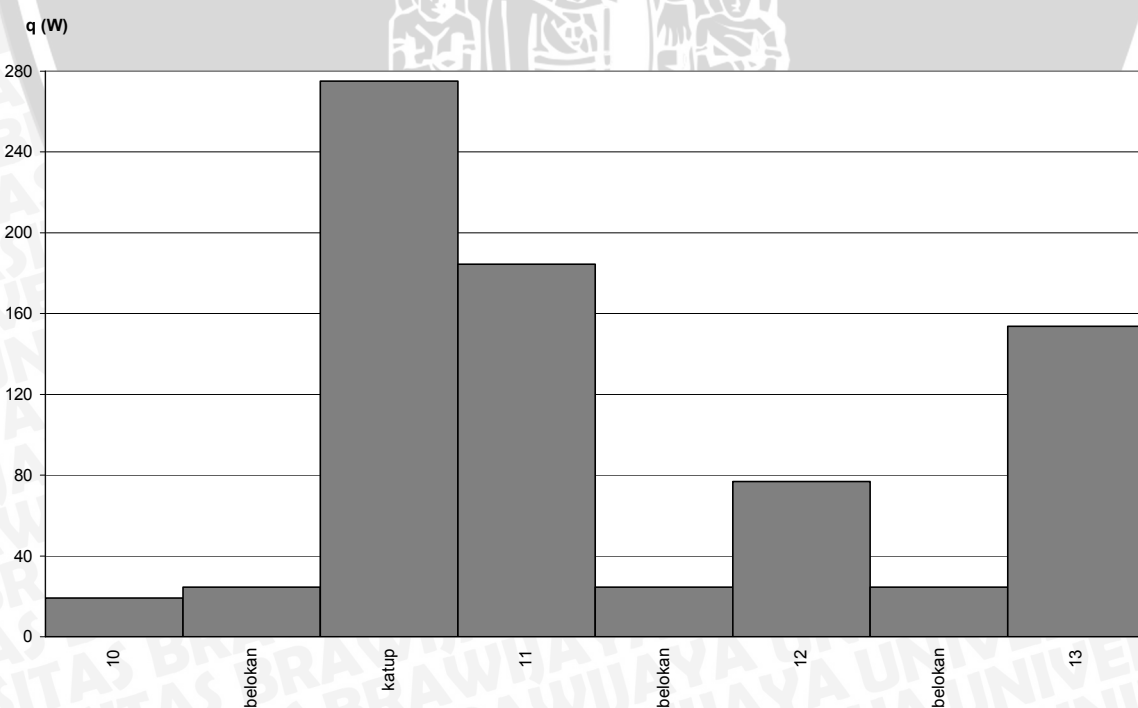
Grafik 79. Distribusi p modifikasi saluran turbin *FDF*



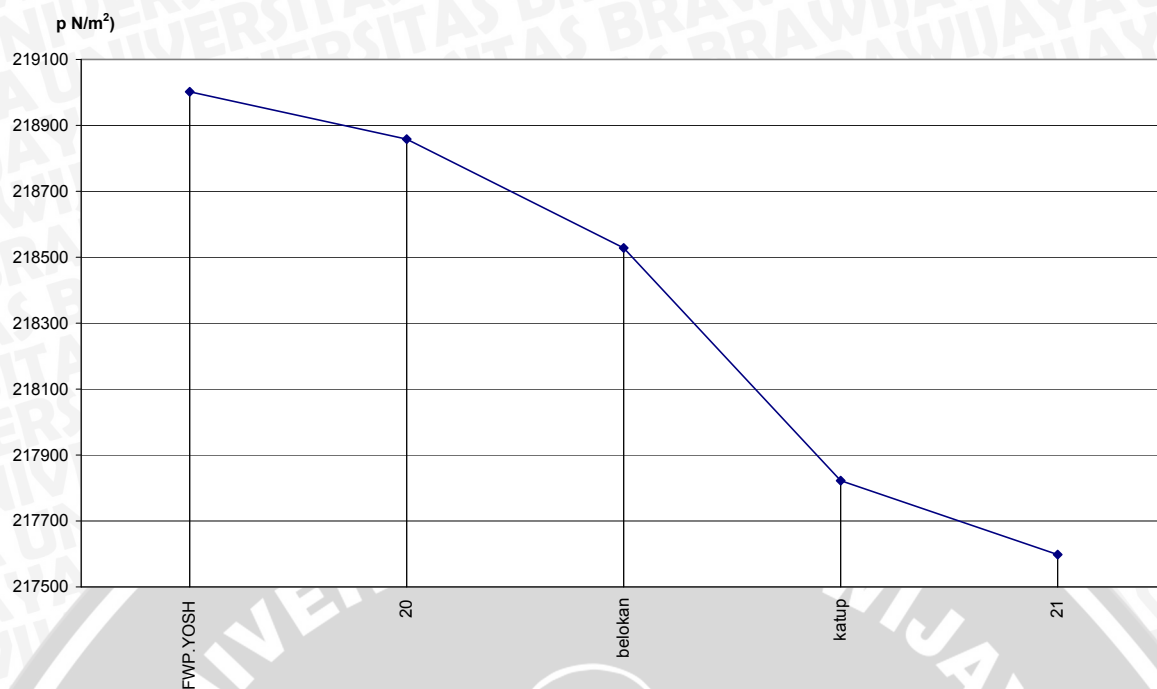
Grafik 80. Head loss modifikasi saluran turbin *FDF*



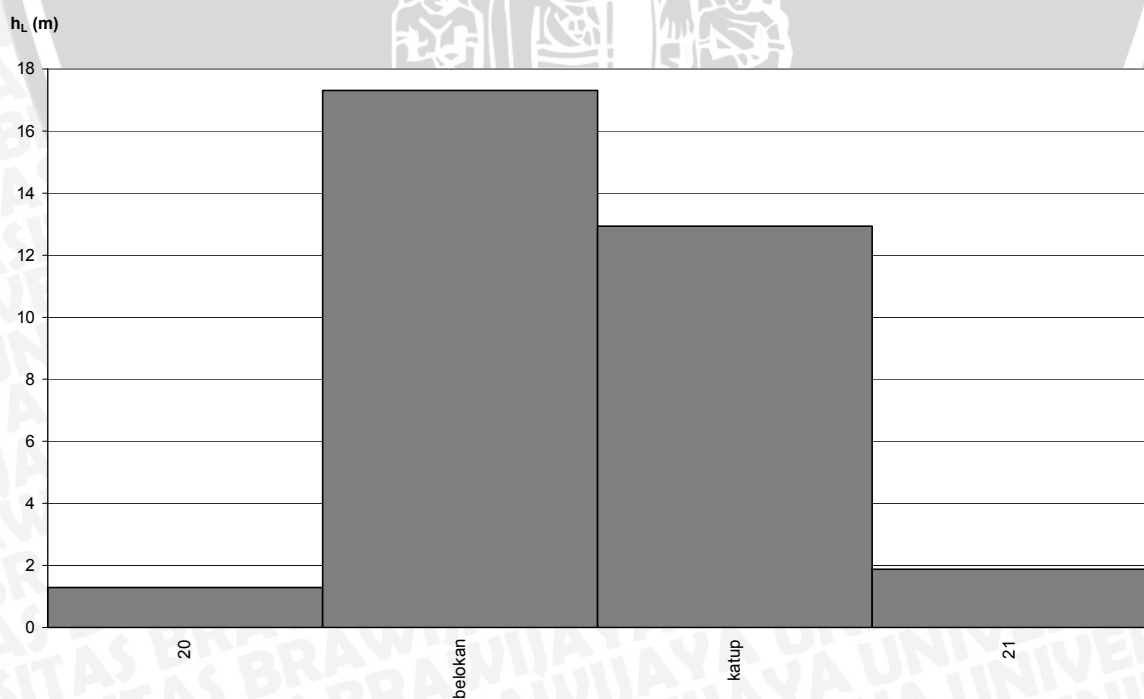
Grafik 81. Distribusi T modifikasi saluran turbin *FDF*



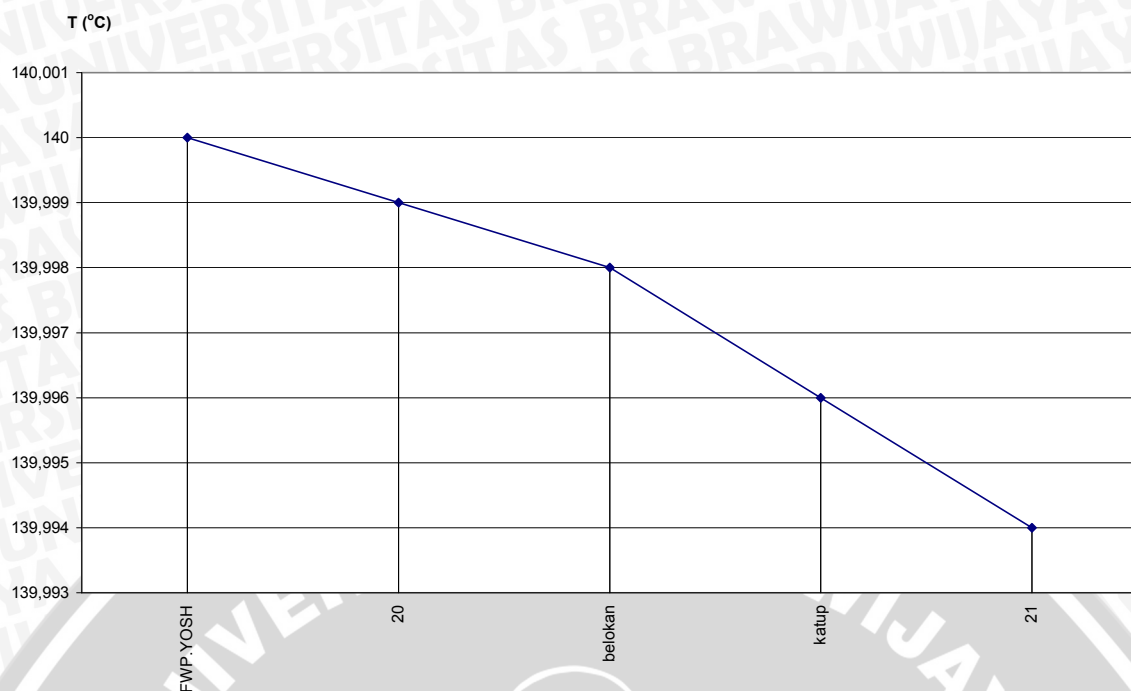
Grafik 82. *q loss* modifikasi saluran turbin *FDF*



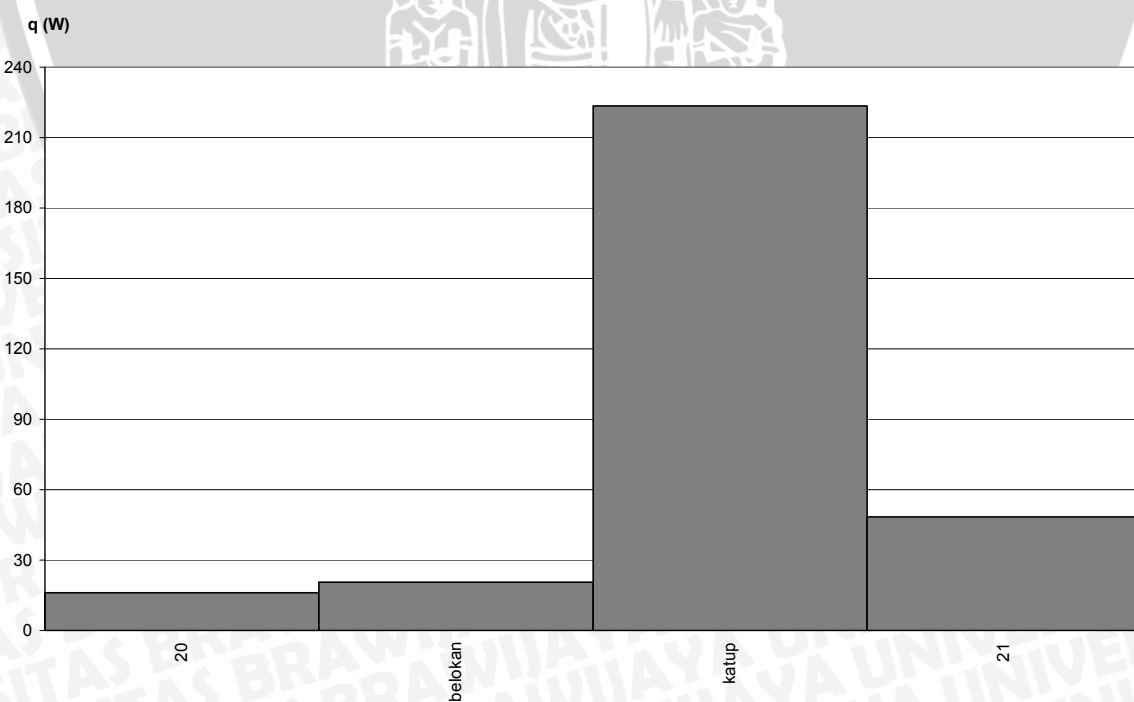
Grafik 83. Distribusi p modifikasi saluran turbin FWP. Yoshimine



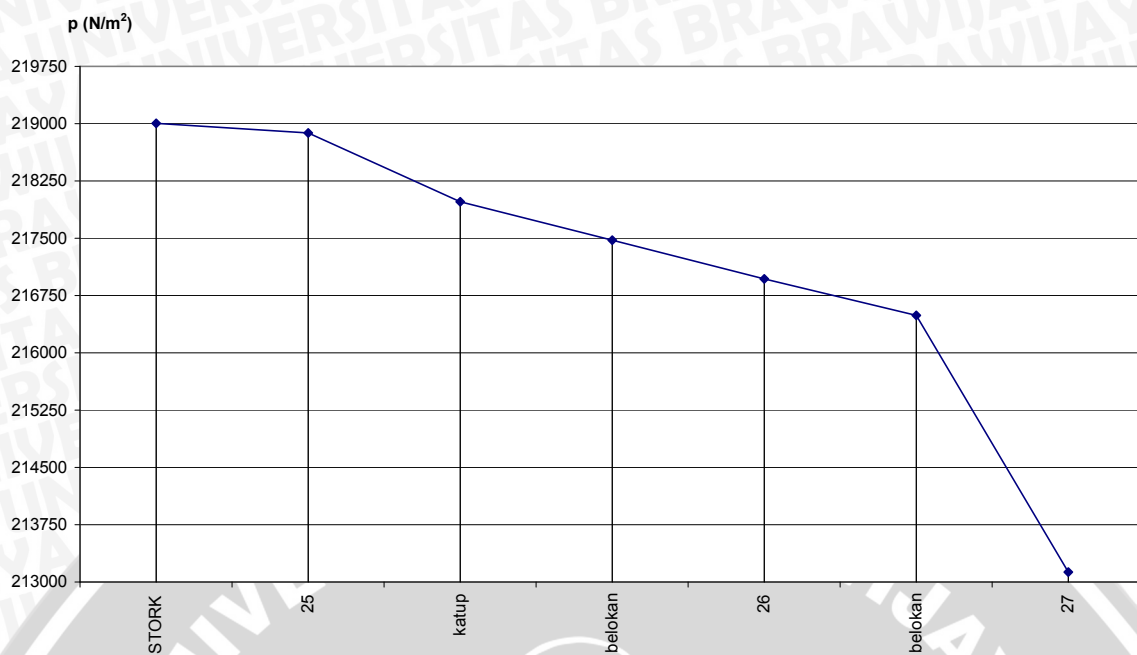
Grafik 84. Head loss modifikasi saluran turbin FWP. Yoshimine



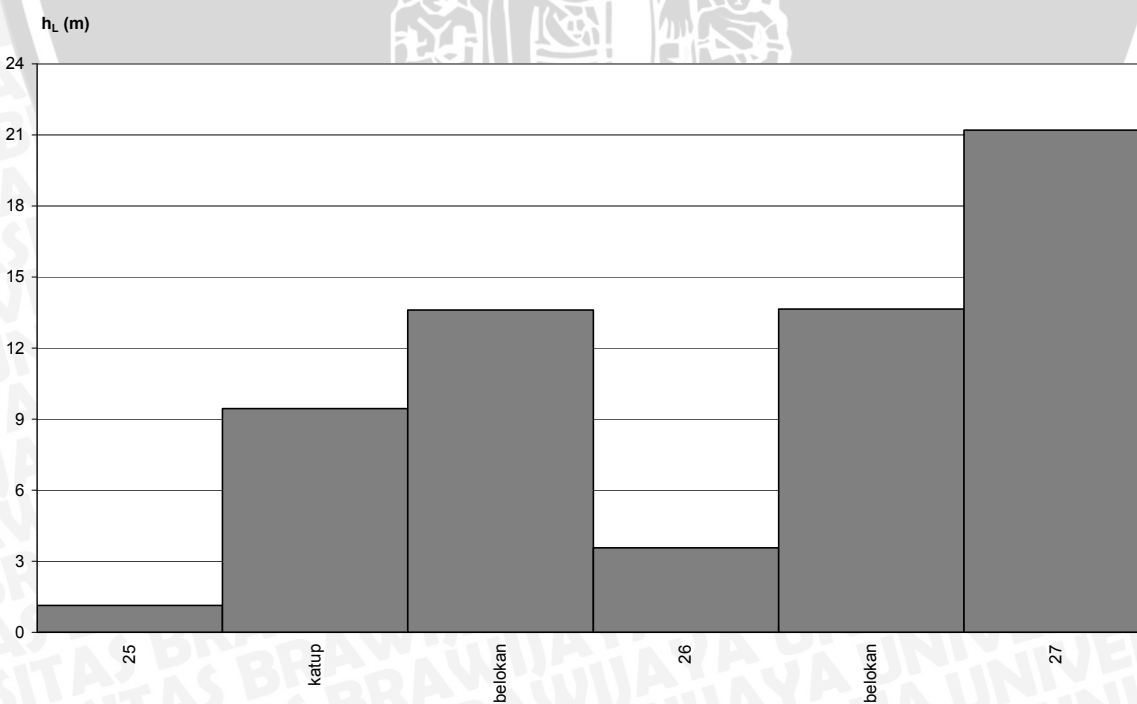
Grafik 85. Distribusi T modifikasi saluran turbin *FWP. Yoshimine*



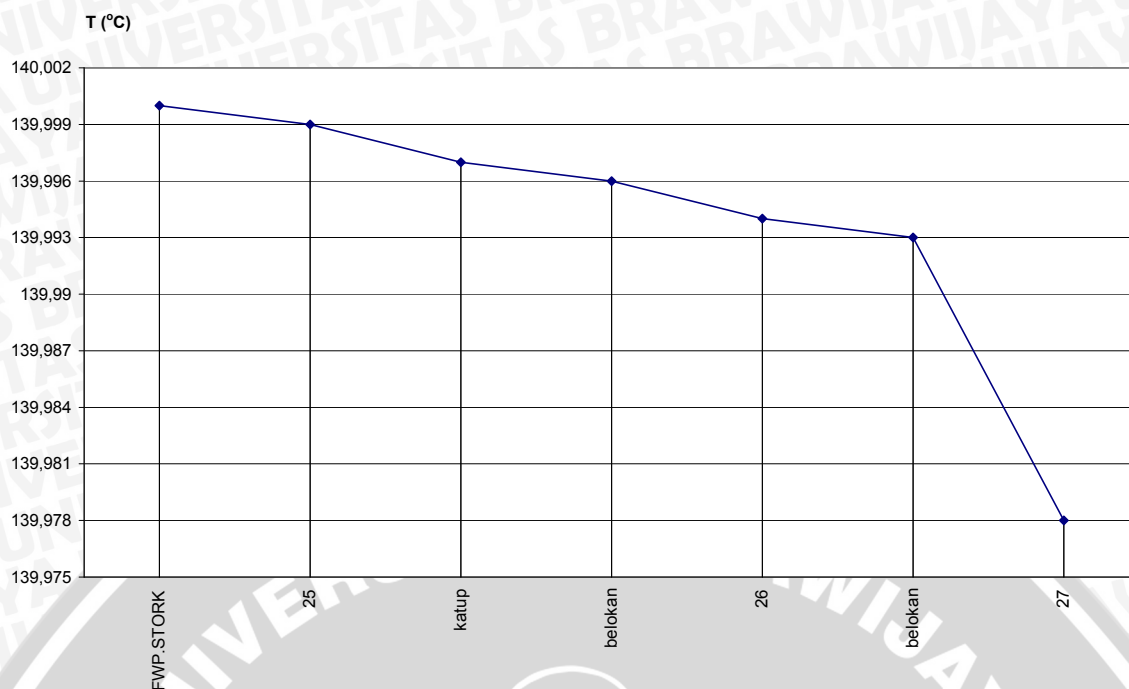
Grafik 86. *q loss* modifikasi saluran turbin *FWP. Yoshimine*



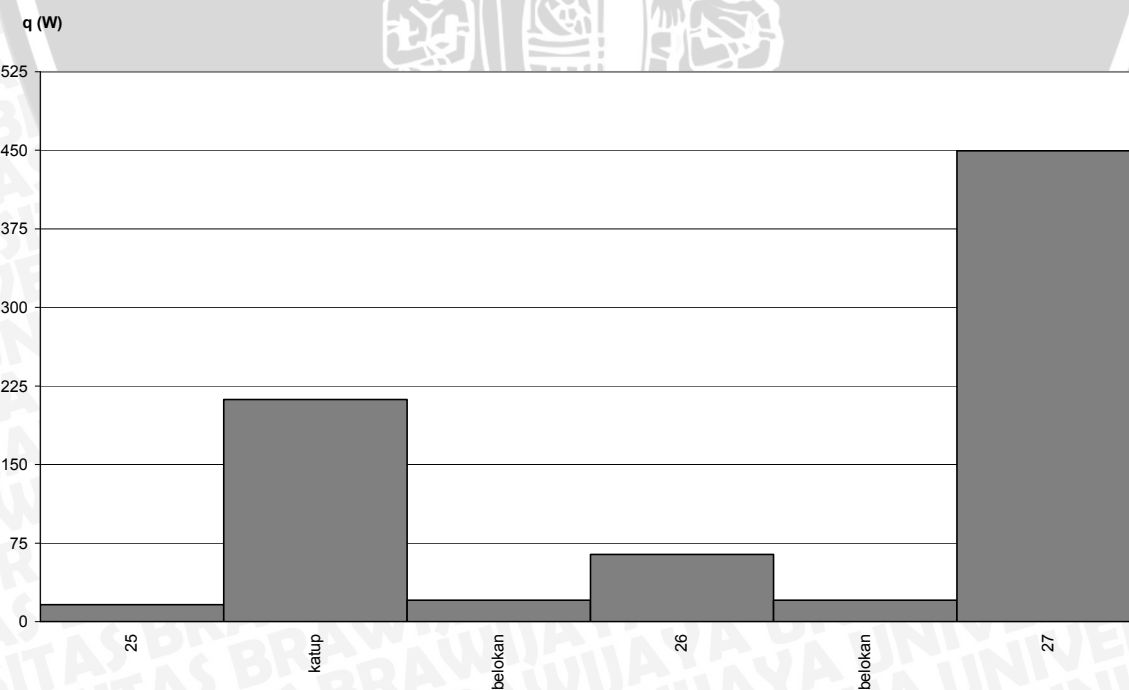
Grafik 87. Distribusi p modifikasi saluran turbin FWP. Stork



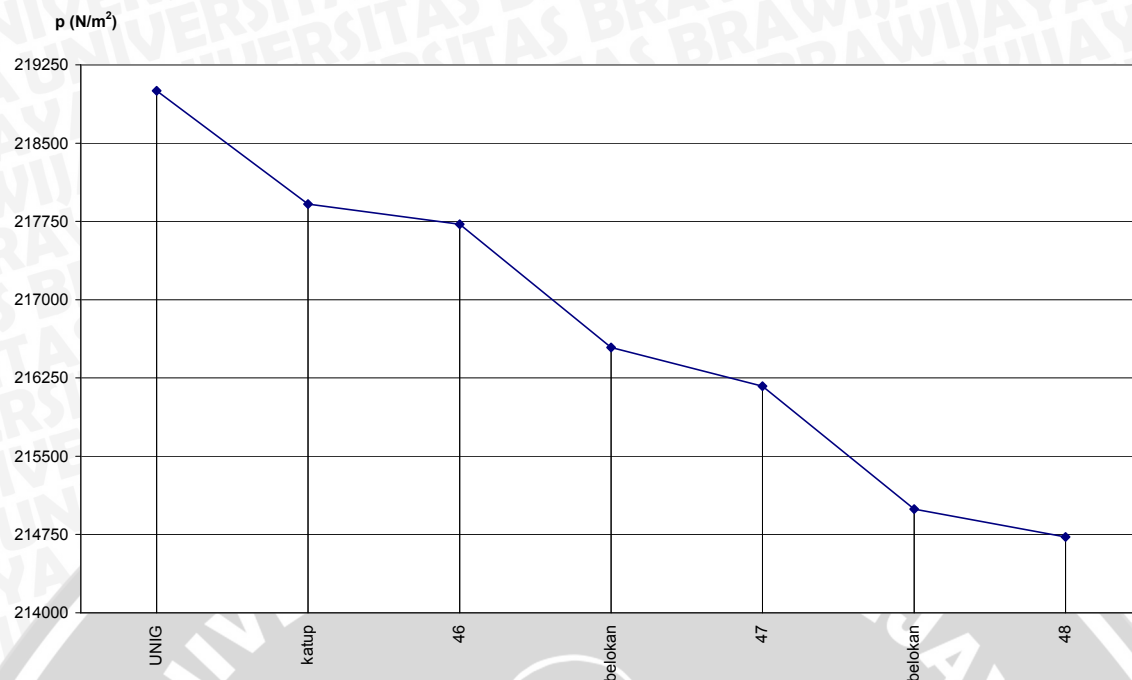
Grafik 88. Head loss modifikasi saluran turbin FWP. Stork



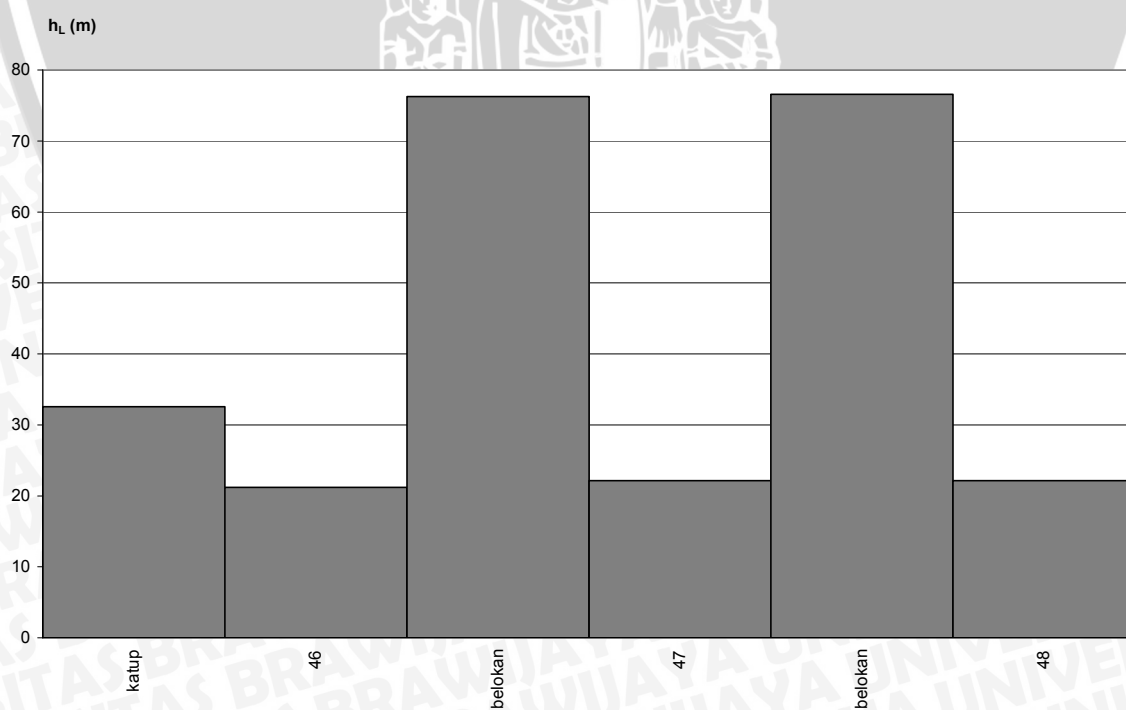
Grafik 89. Distribusi T modifikasi saluran turbin *FWP. Stork*



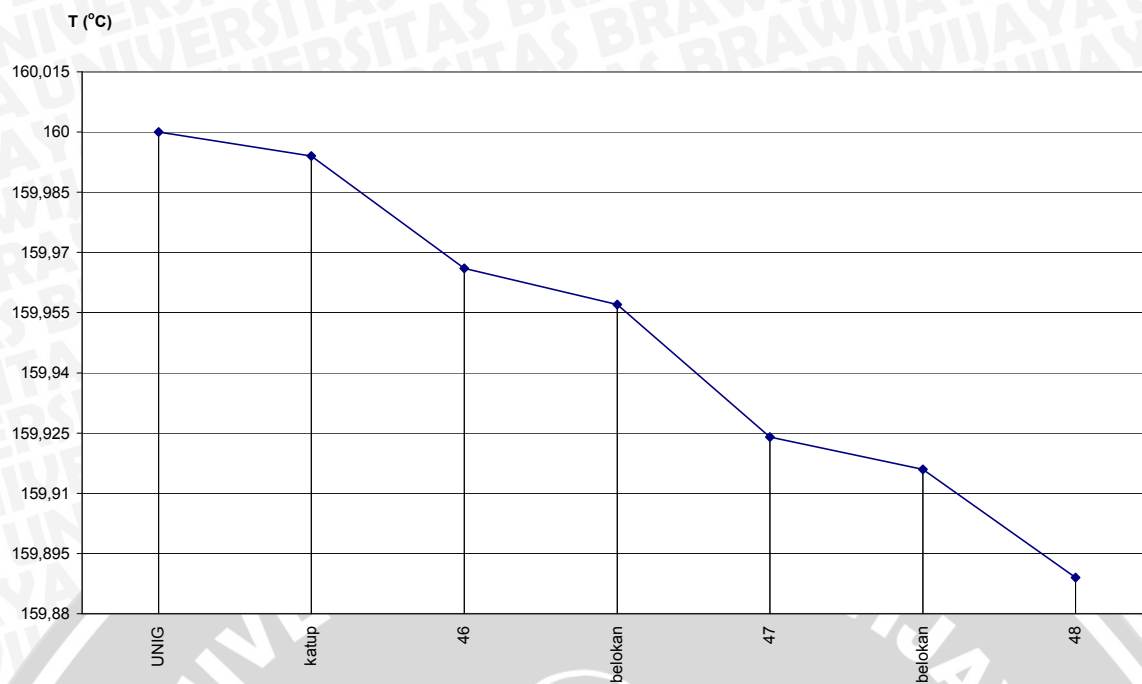
Grafik 90. *q loss* modifikasi saluran turbin *FWP. Stork*



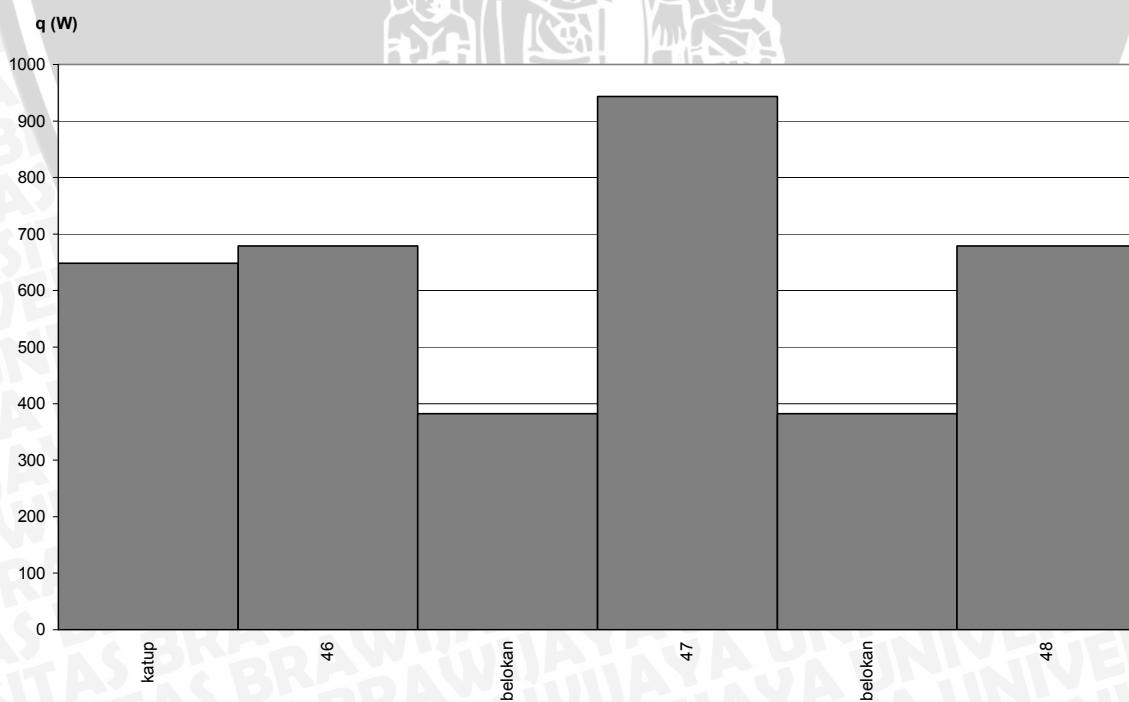
Grafik 91. Distribusi p modifikasi saluran turbin *unigrator*



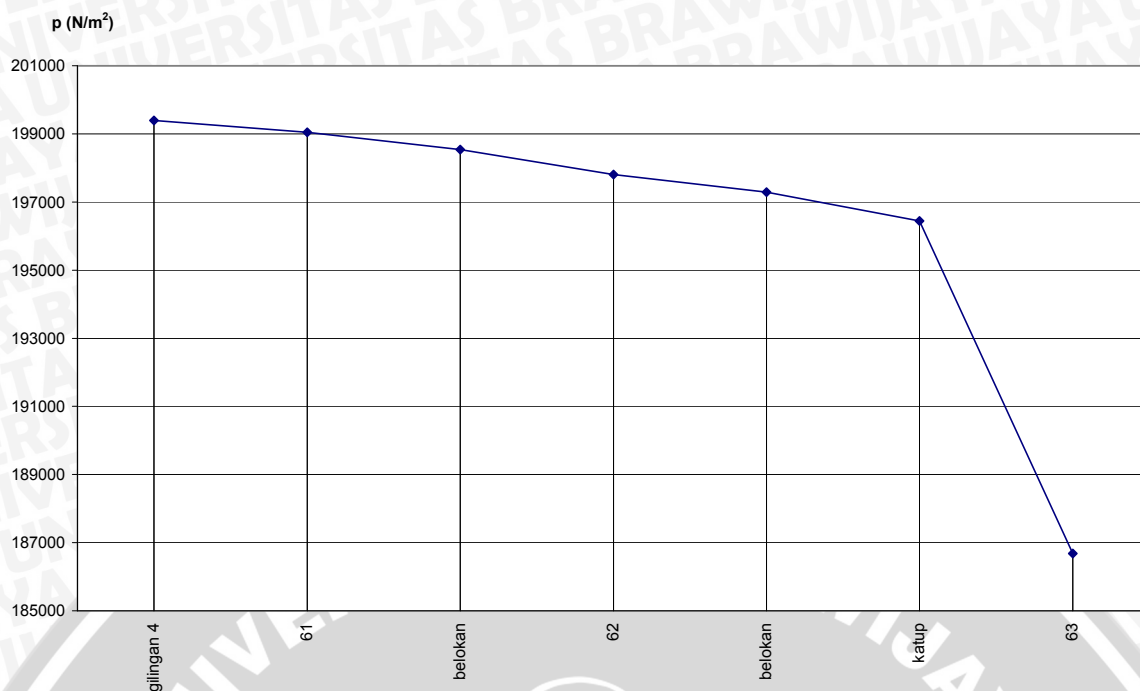
Grafik 92. Head loss modifikasi saluran turbin *unigrator*



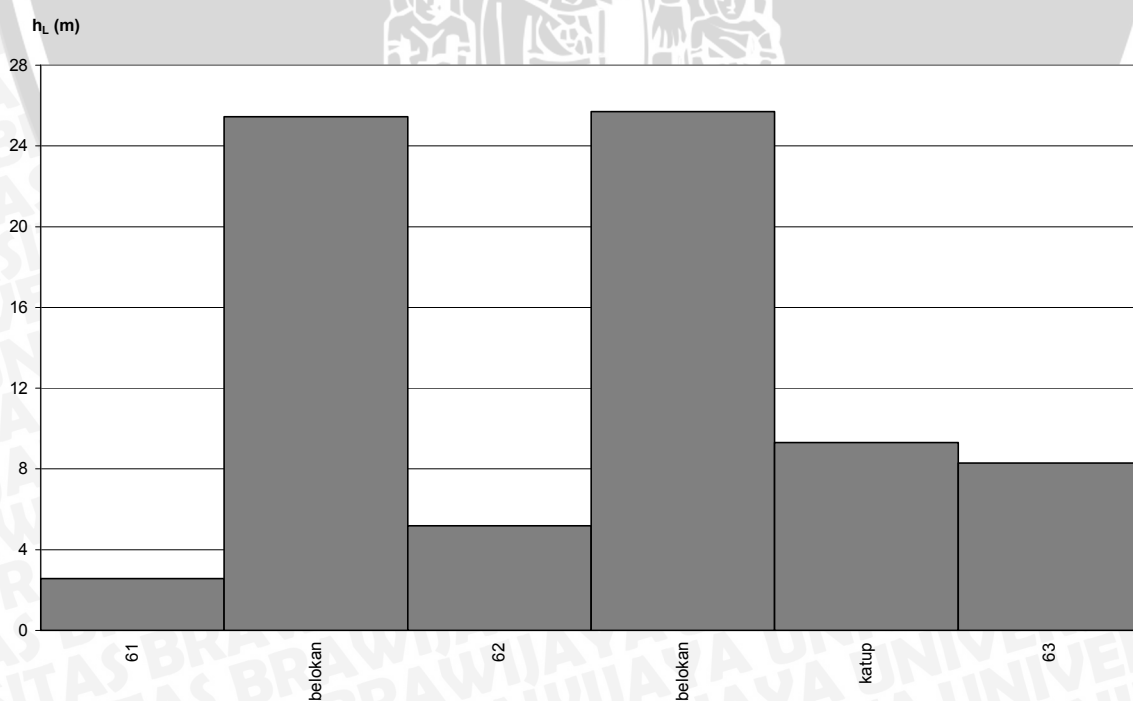
Grafik 93. Distribusi T modifikasi saluran turbin *unigrator*



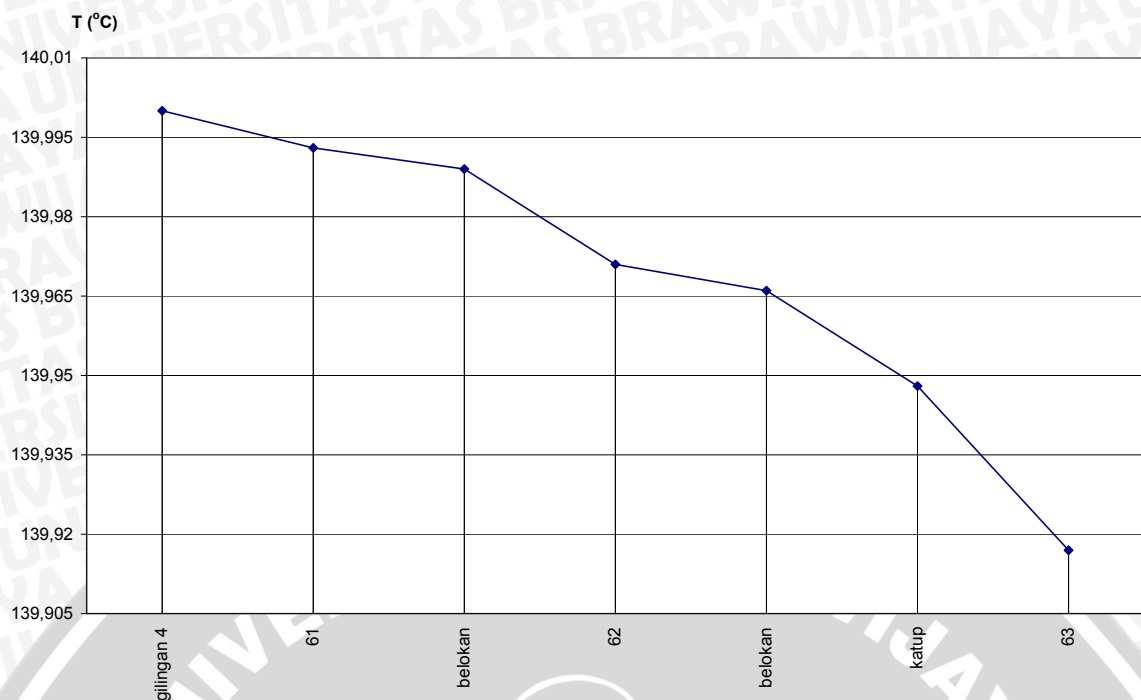
Grafik 94. q loss modifikasi saluran turbin *unigrator*



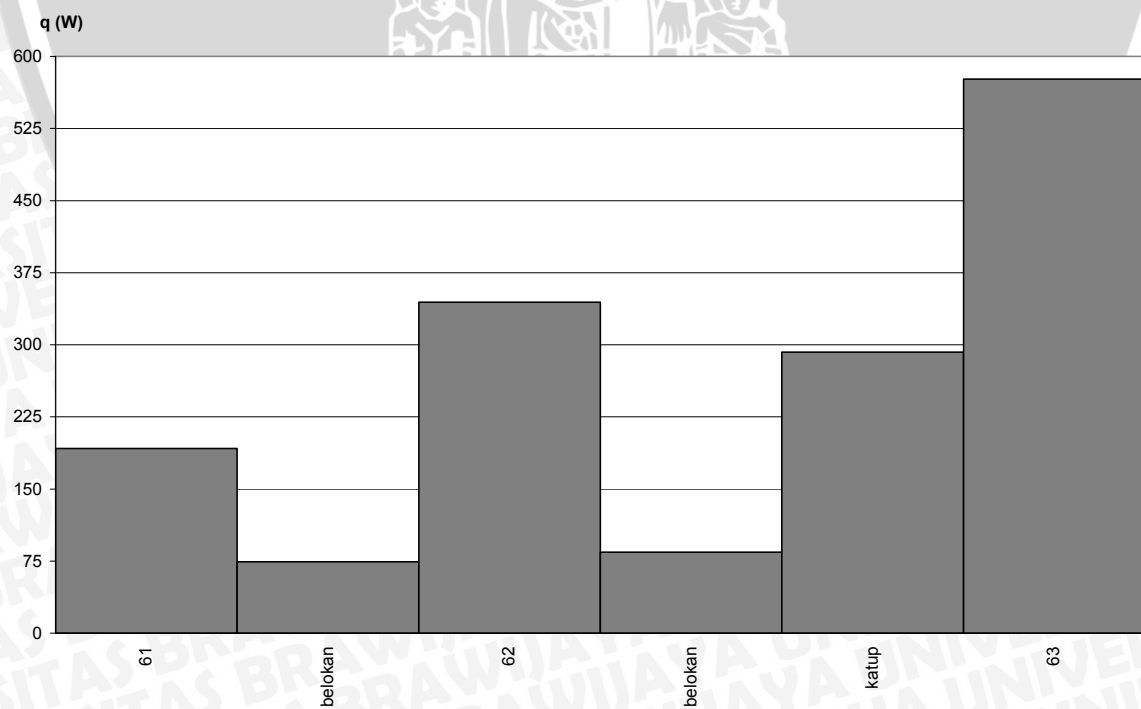
Grafik 95. Distribusi p modifikasi saluran turbin gilingan 4



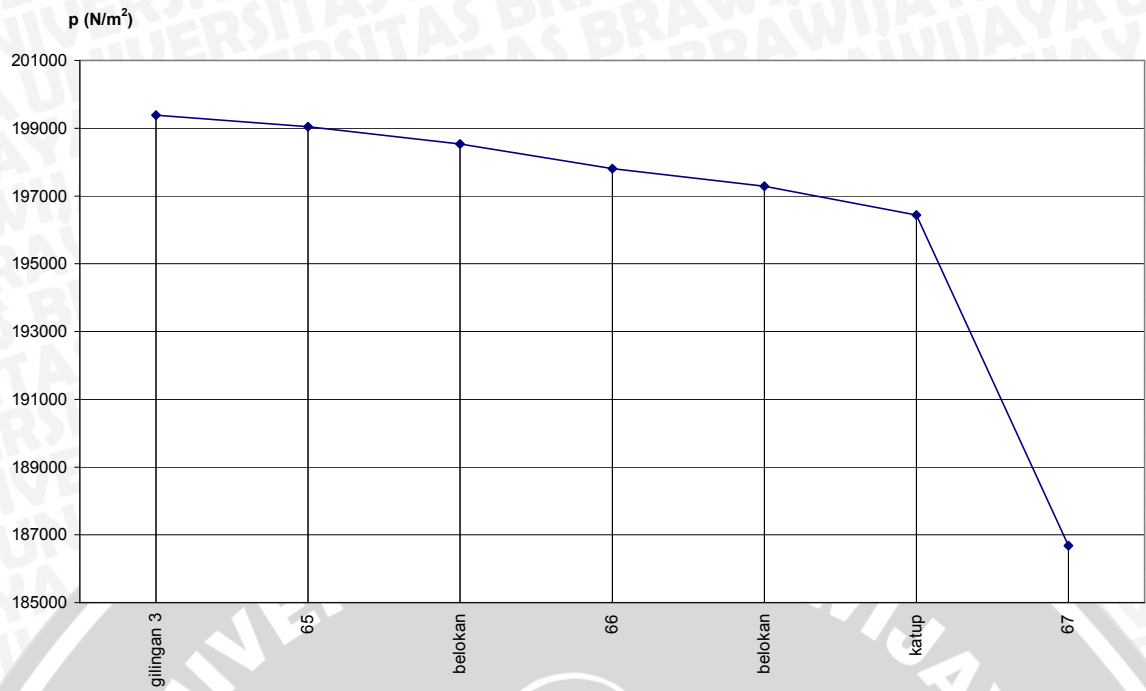
Grafik 96. Head loss modifikasi saluran turbin gilingan 4



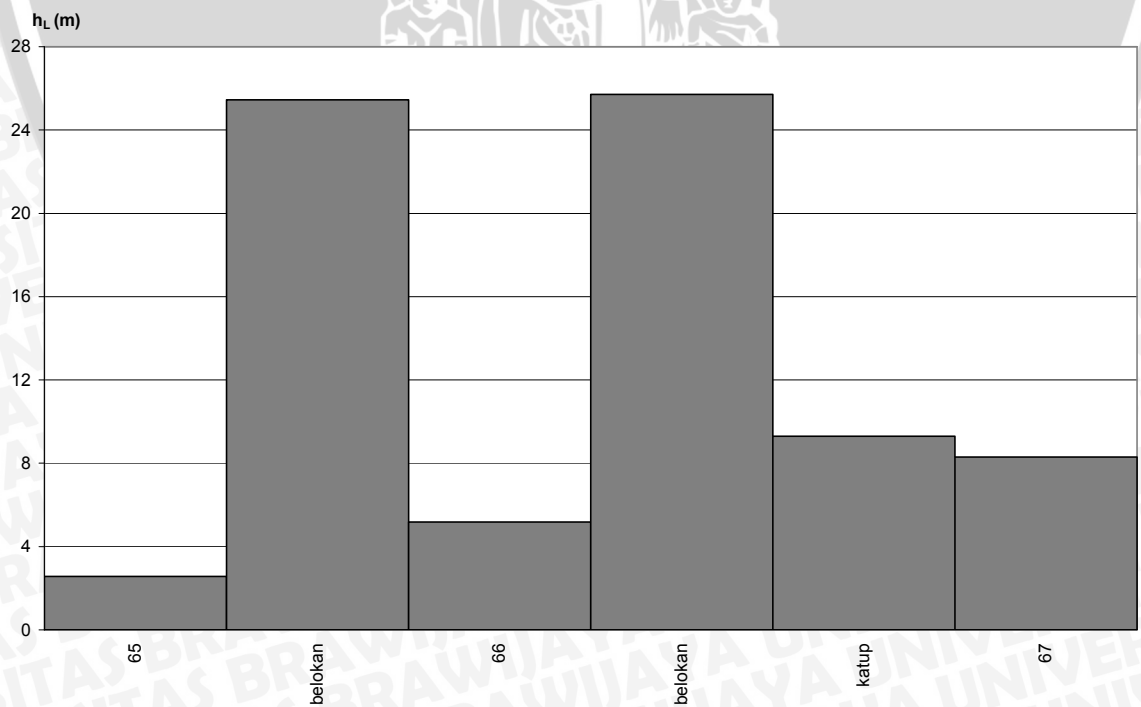
Grafik 97. Distribusi T modifikasi saluran turbin gilingan 4



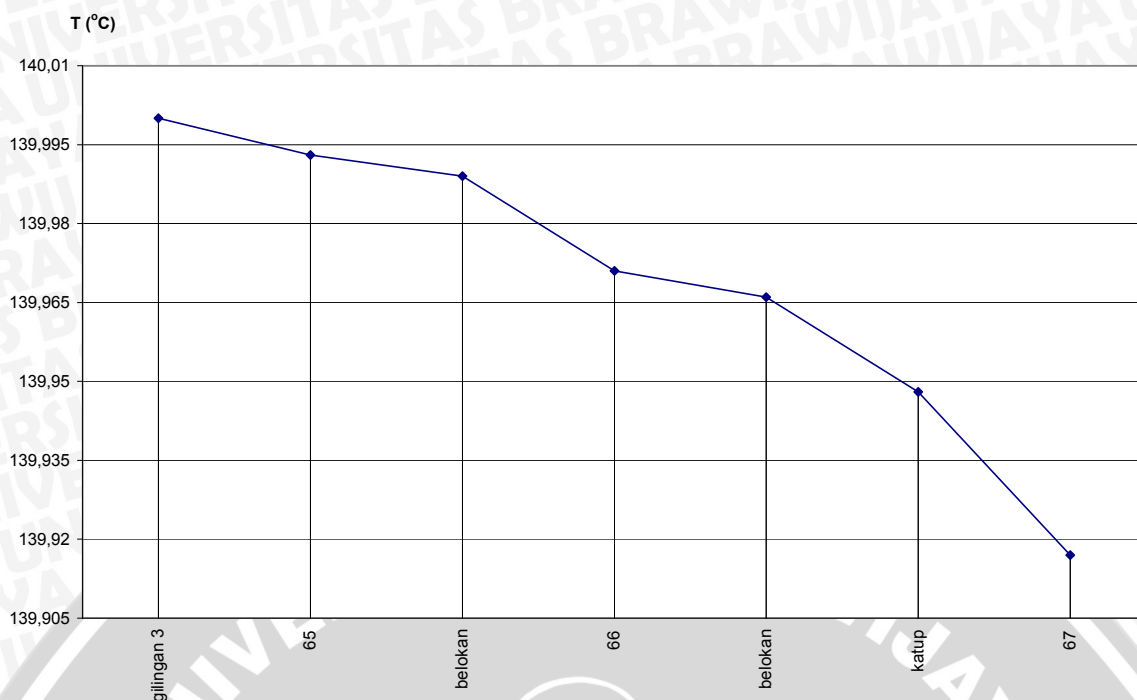
Grafik 98. q loss modifikasi saluran turbin gilingan 4



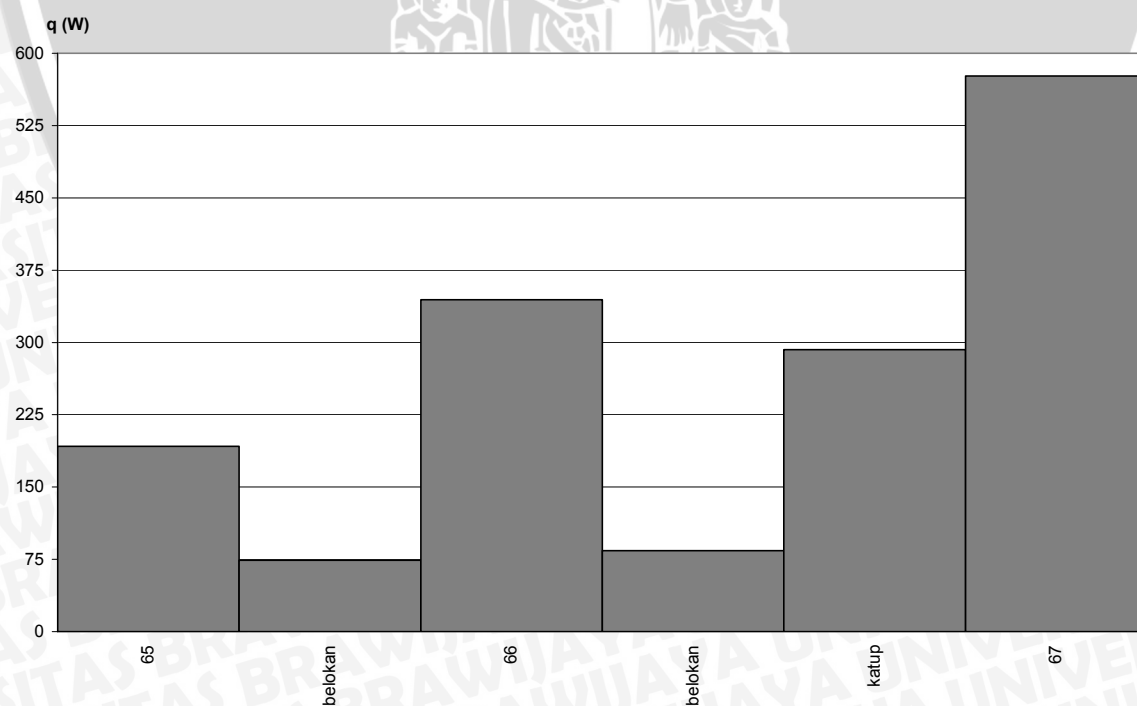
Grafik 99. Distribusi p modifikasi saluran turbin gilingan 3



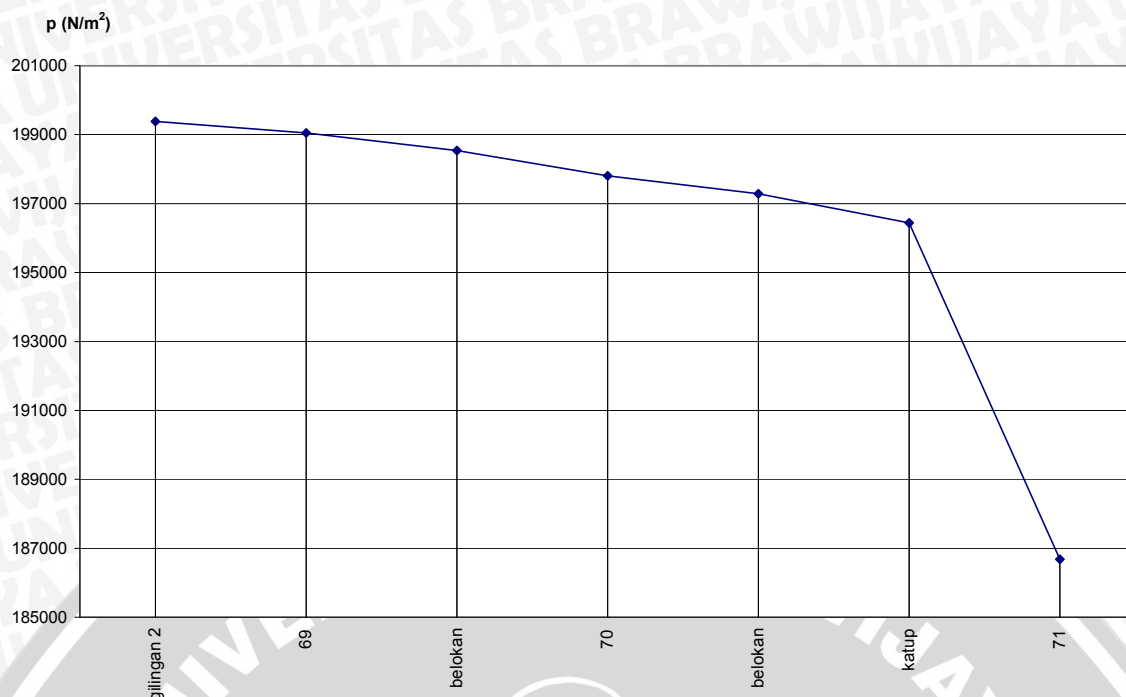
Grafik 100. Head loss modifikasi saluran turbin gilingan 3



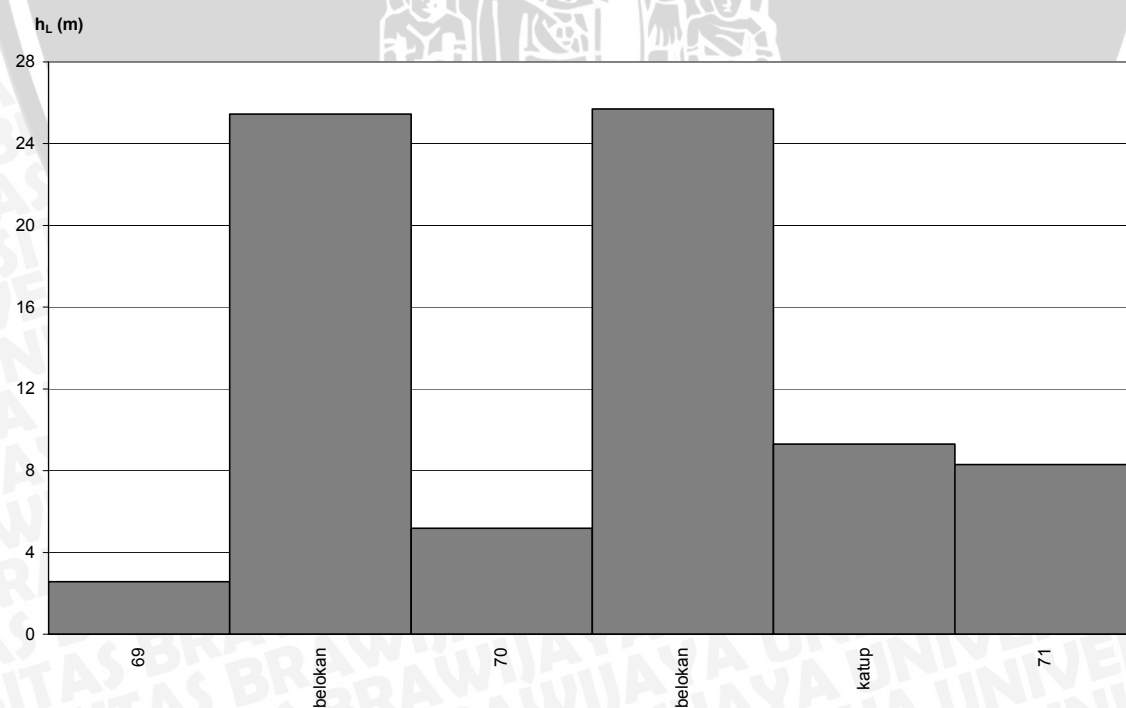
Grafik 101. Distribusi T modifikasi saluran turbin gilingan 3



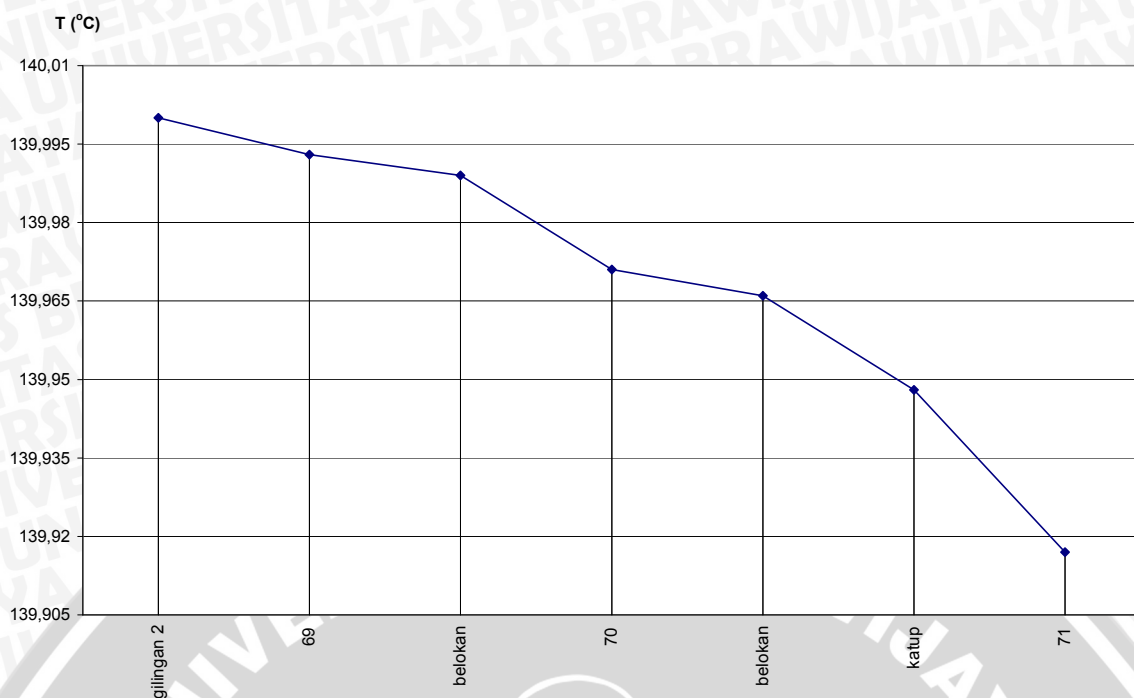
Grafik 102. q loss modifikasi saluran turbin gilingan 3



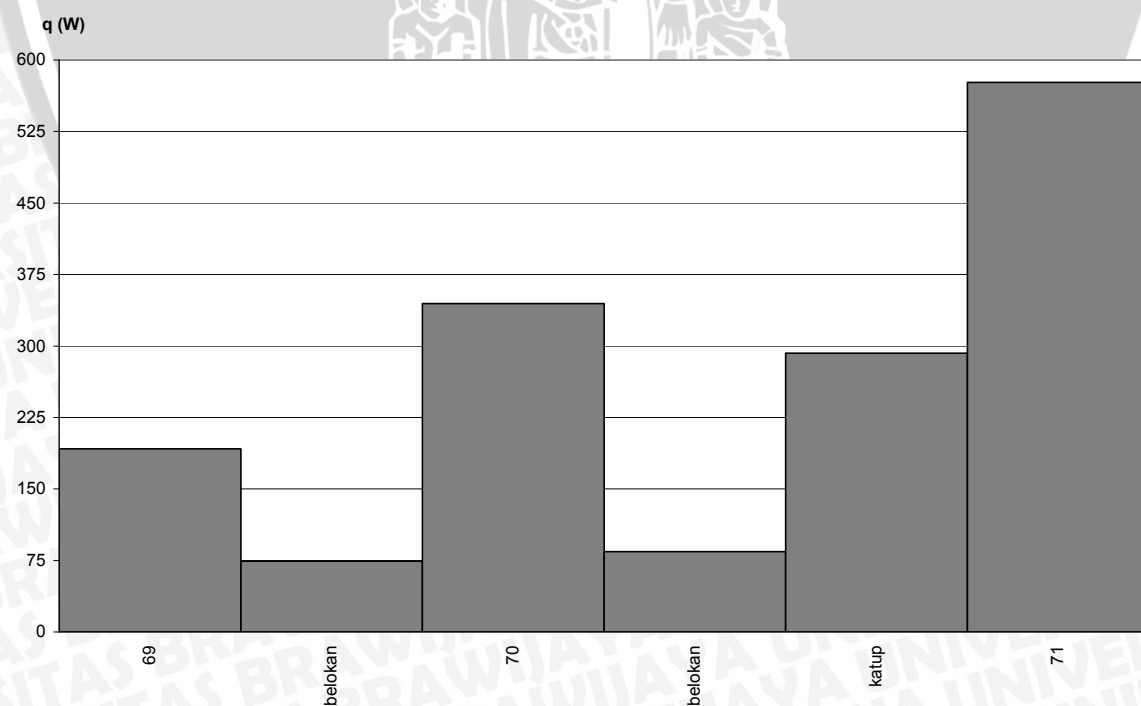
Grafik 103. Distribusi p modifkasi saluran turbin gilingan 2



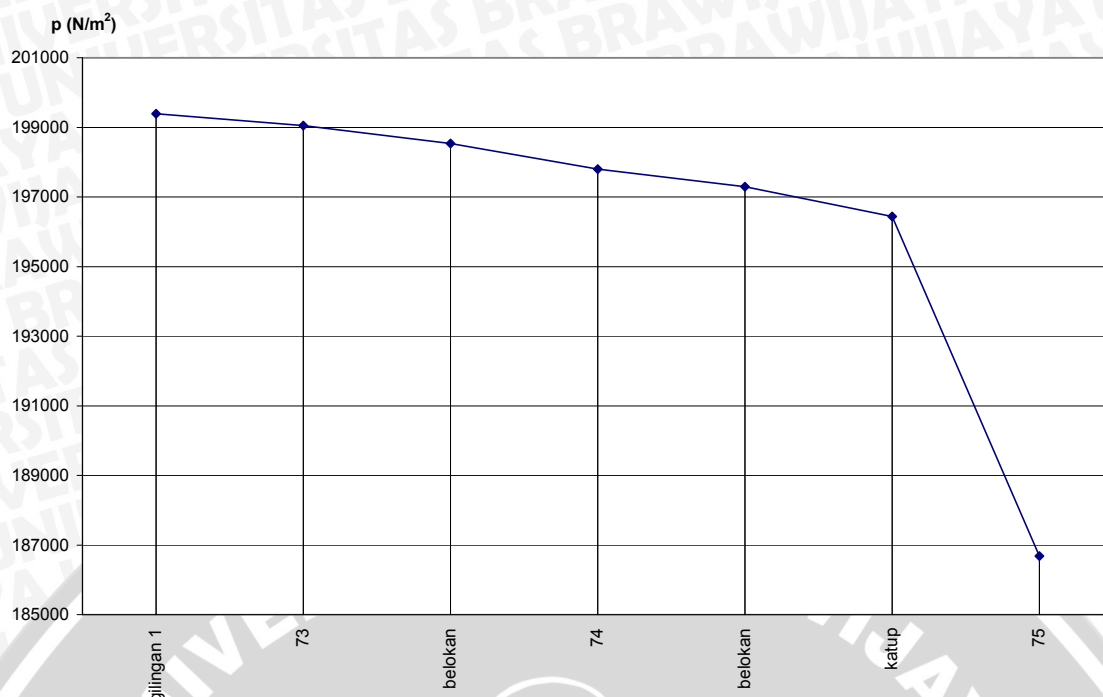
Grafik 104. Head loss modifikasi saluran turbin gilingan 2



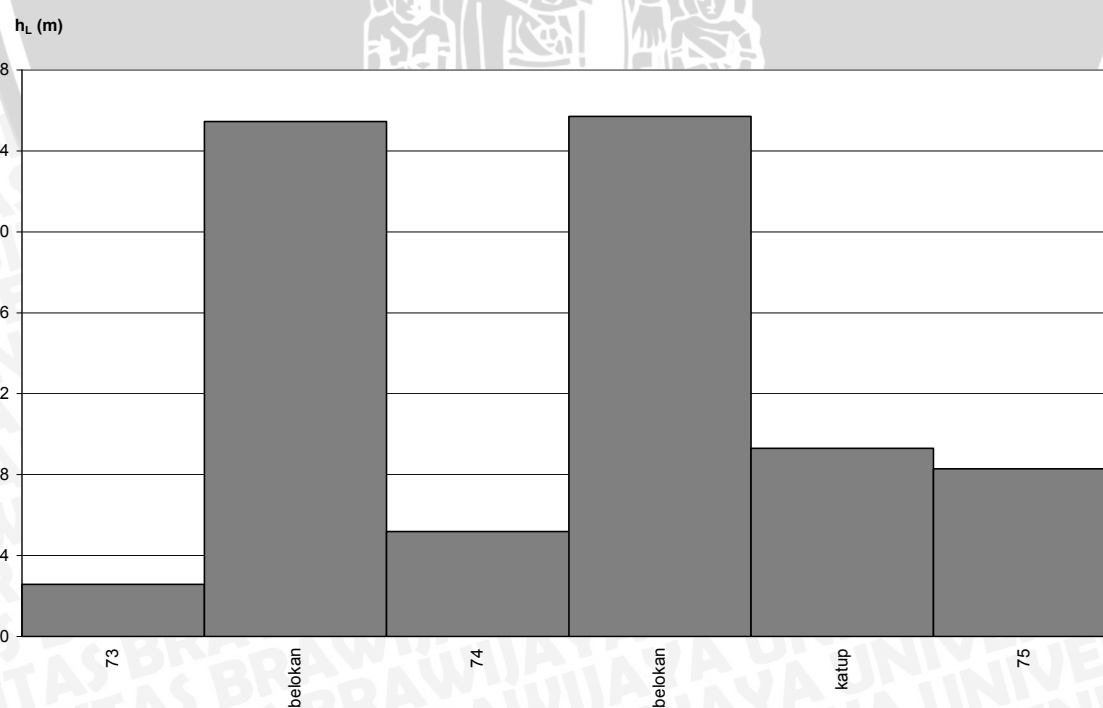
Grafik 105. Distribusi T modifikasi saluran turbin gilingan 2



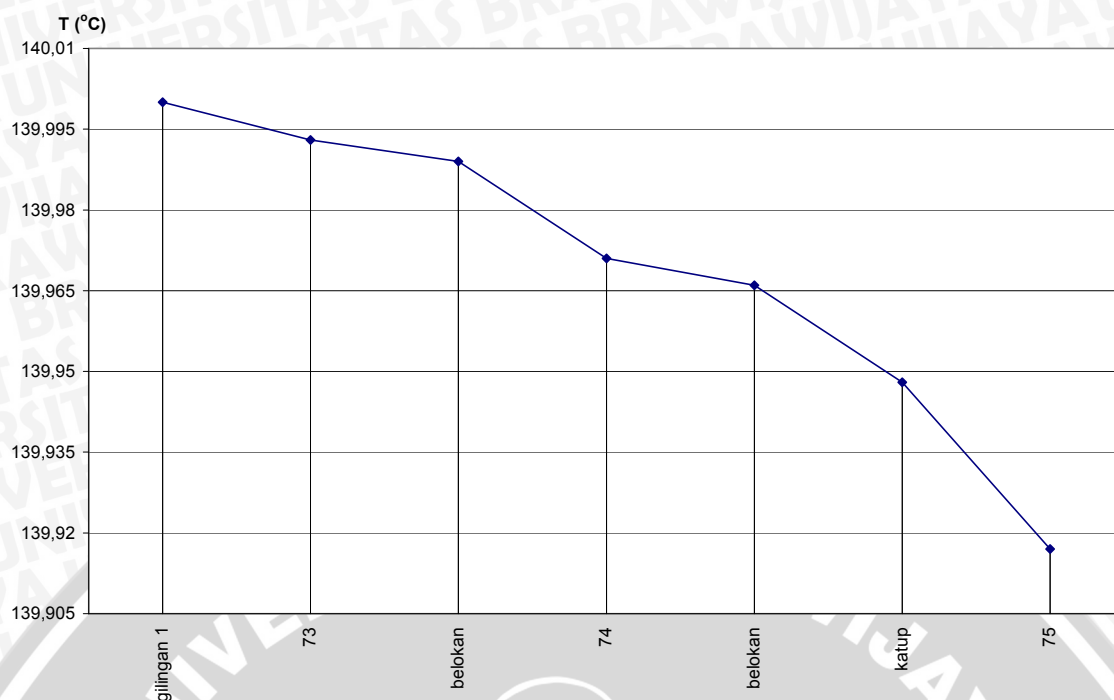
Grafik 106. q loss modifikasi salauran turbin gilingan 2



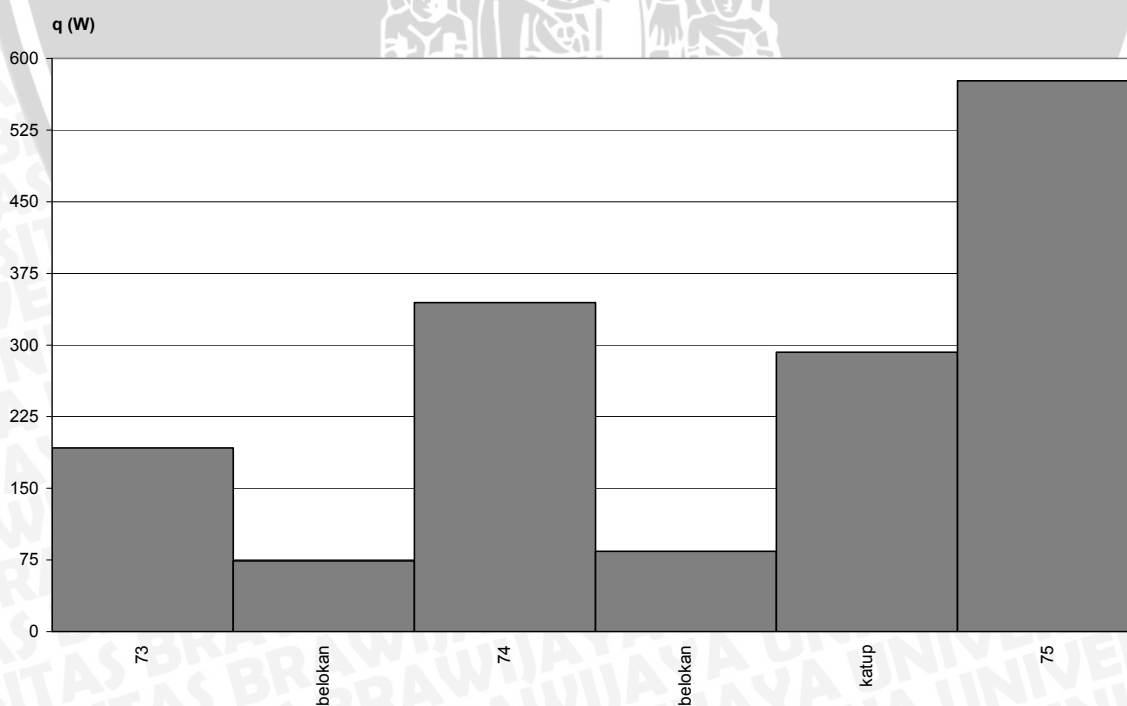
Grafik 107. Distribusi p modifikasi saluran turbin gilingan 1



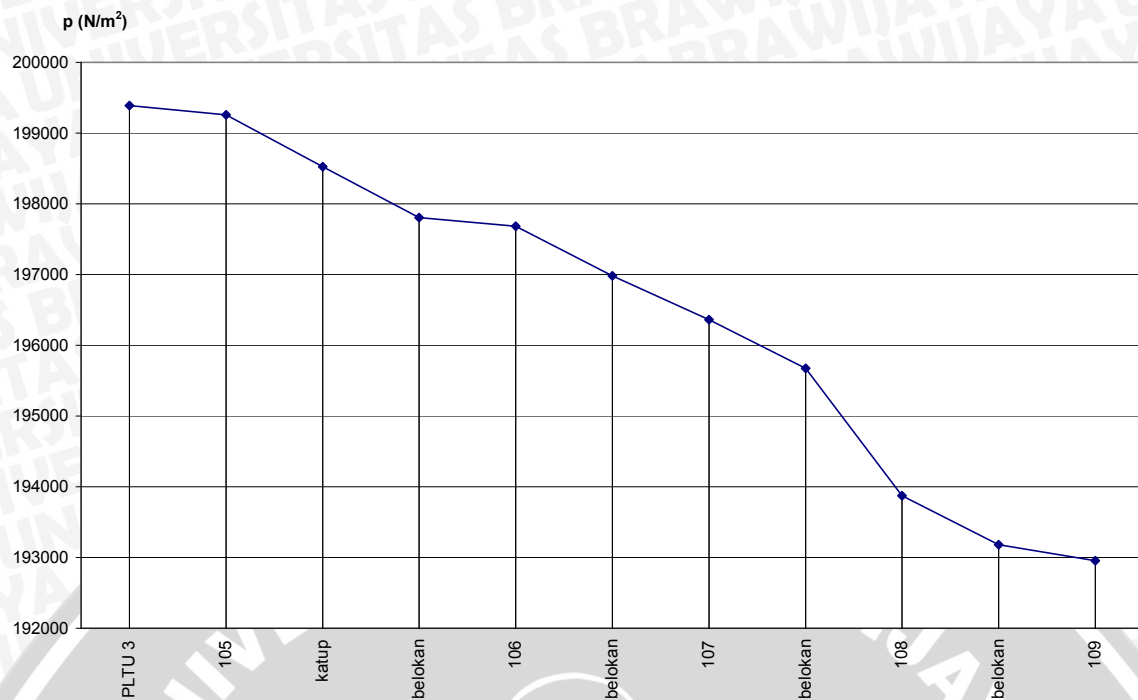
Grafik 108. Head loss modifikasi saluran turbin gilingan 1



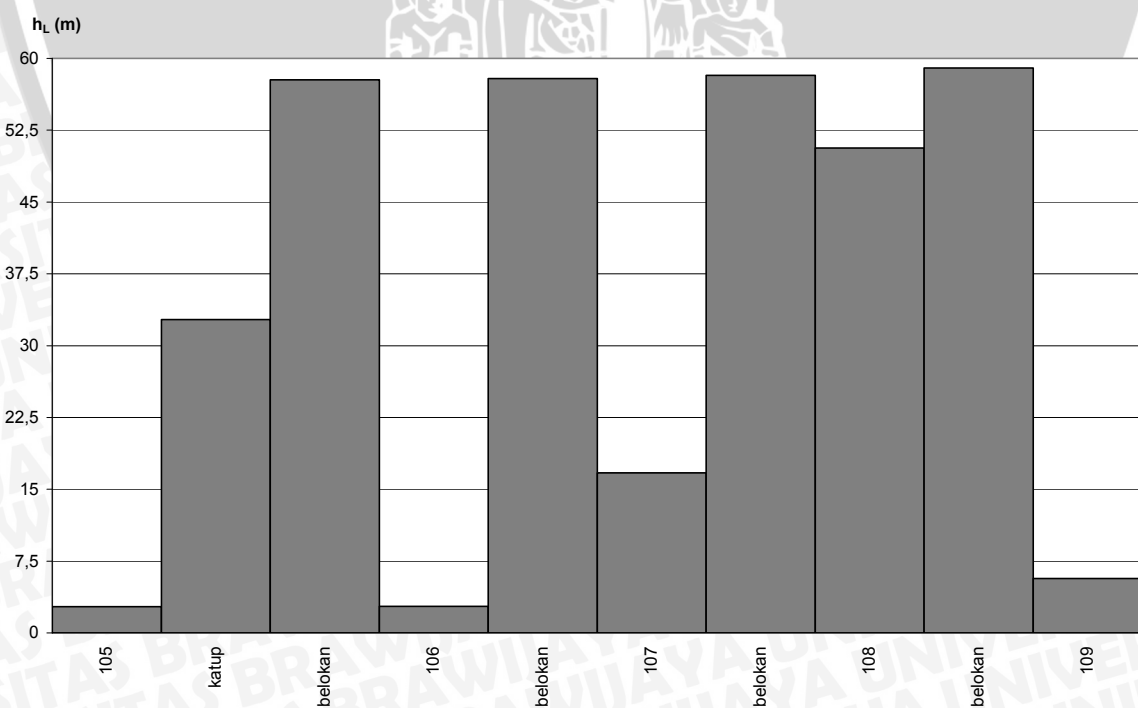
Grafik 109. Distribusi T modifikasi saluran turbin gilingan 1



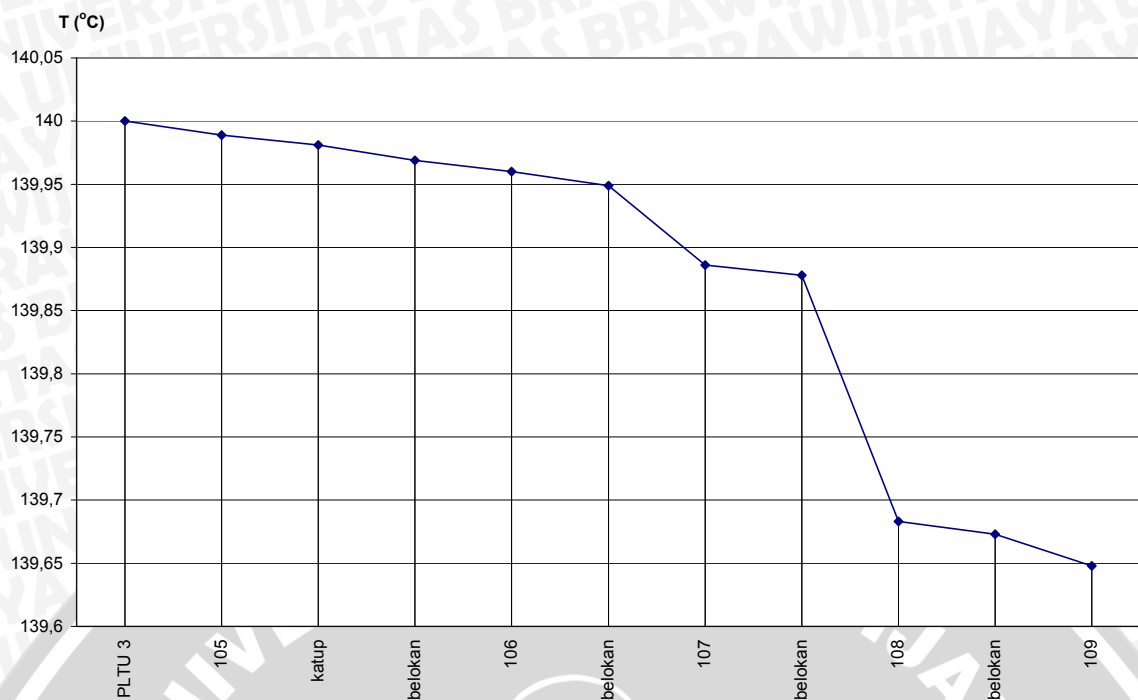
Grafik 110. q loss modifikasi saluran turbin gillingan 1



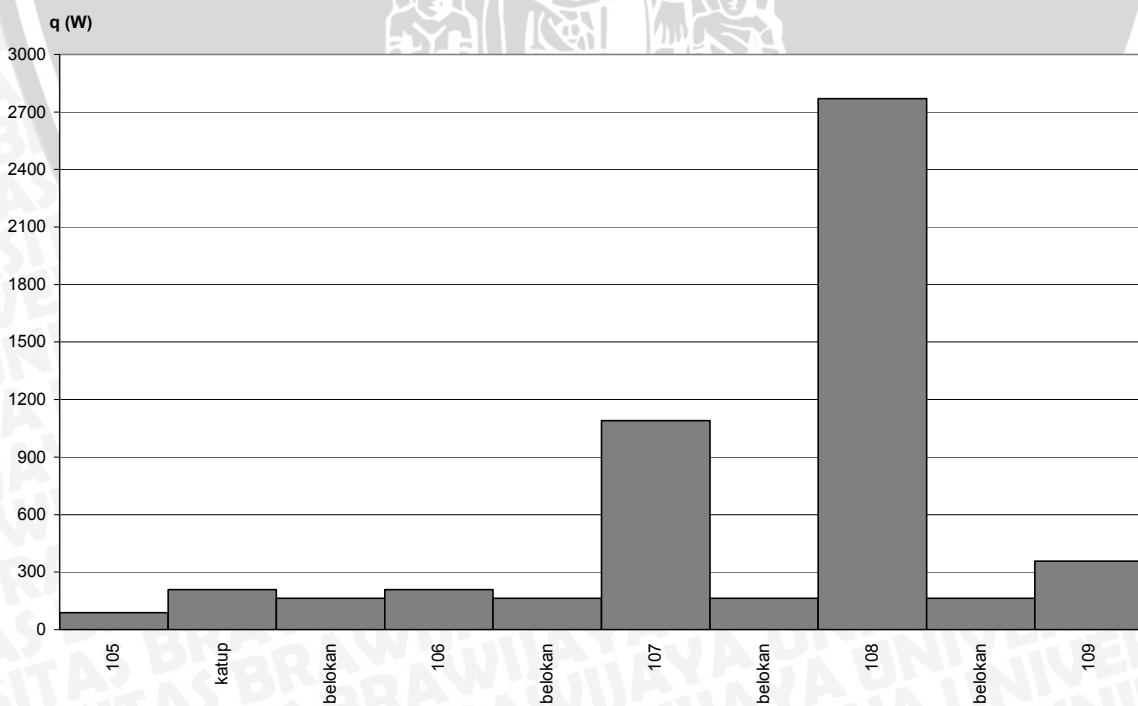
Grafik 111. Distribusi p modifikasi saluran turbin PLTU 3



Grafik 112. *Head loss* modifikasi saluran PLTU 3



Grafik 113. Distribusi T modifikasi saluran turbin PLTU 3



Grafik 114. q loss modifikasi saluran turbin PLTU 3

Data Uap Bekas

a. Turbin *Induced Draft Fan (IDF)*

- $T = 160^{\circ}\text{C}$
- $p = 1,2 \text{ kg/cm}^2$
- $P = 360 \text{ kW}$
- $\eta = 60 \%$

b. Turbin *Forced Draft Fan (FDF)*

- $T = 160^{\circ}\text{C}$
- $p = 1,2 \text{ kg/cm}^2$
- $P = 160 \text{ kW}$
- $\eta = 60 \%$

c. Turbin *Feed Water Pump (FWP)* Yoshimine

- $T = 140^{\circ}\text{C}$
- $p = 1,2 \text{ kg/cm}^2$
- $P = 150 \text{ kW}$
- $\eta = 60 \%$

d. Turbin *Feed Water Pump (FWP)* Stork

- $T = 140^{\circ}\text{C}$
- $p = 1,2 \text{ kg/cm}^2$
- $P = 90 \text{ kW}$
- $\eta = 60 \%$

e. Turbin Gilingan

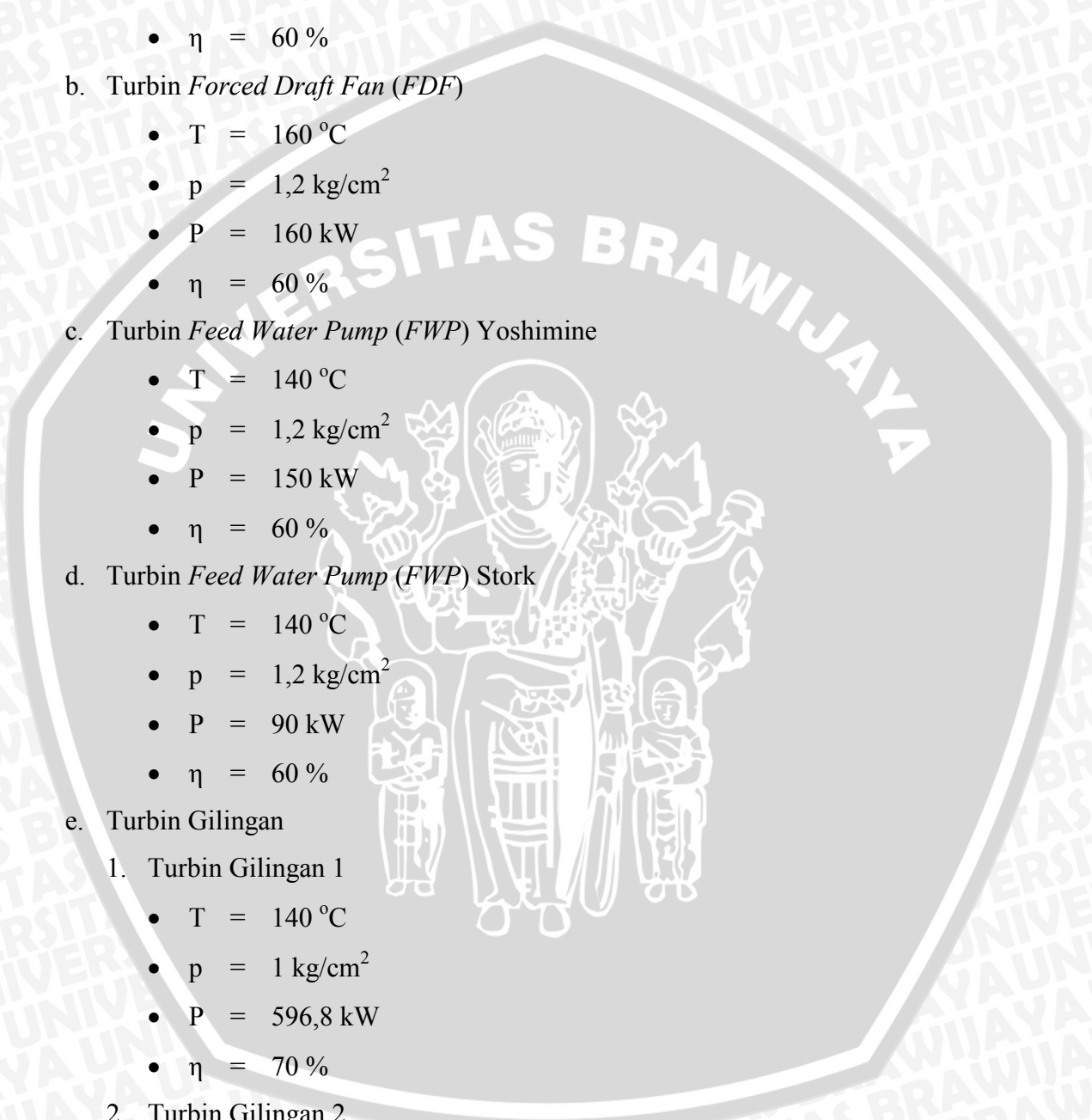
1. Turbin Gilingan 1

- $T = 140^{\circ}\text{C}$
- $p = 1 \text{ kg/cm}^2$
- $P = 596,8 \text{ kW}$
- $\eta = 70 \%$

2. Turbin Gilingan 2

- $T = 140^{\circ}\text{C}$
- $p = 1 \text{ kg/cm}^2$
- $P = 596,8 \text{ kW}$
- $\eta = 70 \%$

3. Turbin Gilingan 3



- $T = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $p = 1\text{ kg/cm}^2$
- $P = 596,8\text{ kW}$
- $\eta = 70\%$

4. Turbin Gilingan 4

- $T = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $p = 1\text{ kg/cm}^2$
- $P = 596,8\text{ kW}$
- $\eta = 70\%$

5. Turbin Gilingan 5

- $T = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $p = 1\text{ kg/cm}^2$
- $P = 596,8\text{ kW}$
- $\eta = 70\%$

f. Turbin *Canecutter*

- $T = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $p = 1,2\text{ kg/cm}^2$
- $P = 1119\text{ kW}$
- $\eta = 60\%$

g. Turbin *Unigrator*

- $T = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $p = 1,2\text{ kg/cm}^2$
- $P = 1492\text{ kW}$
- $\eta = 60\%$

h. Turbin PLTU

1. Turbin PLTU 1

- $T = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $p = 1\text{ kg/cm}^2$
- $P = 4500\text{ kW}$
- $\eta = 70\%$

2. Turbin PLTU 2

- $T = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$



- $p = 1 \text{ kg/cm}^2$
- $P = 4500 \text{ kW}$
- $\eta = 70 \%$

3. Turbin PLTU 3

- $T = 140^\circ\text{C}$
- $p = 1 \text{ kg/cm}^2$
- $P = 1000 \text{ kW}$
- $\eta = 70 \%$

Data Uap Baru

- $T = 325^\circ\text{C}$
- $p = 17 \text{ kg/cm}^2$

Data uap masuk evaporator

- $T = 120^\circ\text{C}$
- $p = 0,8 \text{ kg/cm}^2$
- $m = 139,521 \text{ ton/jam}$

Data uap masuk masakan

- $T = 115^\circ\text{C}$
- $p = 0,7 \text{ kg/cm}^2$
- $m = 58 \text{ ton/jam}$

Data Isolator

c. Isolator 1

- Material = Rock Woll
- Tebal = 5 cm

d. Isolator 2

- Material = Aluminium Foil
- Tebal = 3 mm

Data Lingkungan

- Temperatur udara sekitar = 33°C
- Kecepatan udara sekitar = 2 m/dt

Data Sambungan

- Belokan tipe pendek
- Pembesaran bertahap dengan $\phi = 20^\circ$

Data Ketel

- Bahan bakar : minyak bakar + ampas tebu
- $\eta = 70 \%$

Data Katup

- Katup 150 lb dengan bahan tembaga.
- Tipe *Globe Valve*, *Gate Valve*, sambungan *flanged*.

Material pipa : AISI 1010 schedule 40**Data Dimensi Pipa Uap Bekas**

No	Nominal Pipe Size (inchi)	Panjang (mm)	No	Nominal Pipe Size	Panjang (mm)
1	8	250	63	12	3000
2	8	2400	64	18	7500
3	8	1000	65	12	1000
4	8	2000	66	12	2000
5	8	5000	67	12	3000
6	8	2000	68	18	7500
7	8	1000	69	12	1000
8	8	2000	70	12	2000
9	8	2000	71	12	3000
10	8	250	72	24	7500
11	8	2400	73	12	1000
12	8	1000	74	12	2000
13	8	2000	75	12	3000
14	12	3000	76	30	2000
15	12	3500	77	30	500
16	12	2000	78	30	22000
17	12	1000	79	30	8500
18	12	2000	80	30	25000
19	12	2000	81	30	10000
20	8	250	82	30	5000
21	8	750	83	24	500
22	12	6000	84	24	2000
23	30	3000	85	24	2000
24	30	20000	86	24	1000
25	8	250	87	24	2000
26	8	1000	88	24	10000
27	8	7000	89	24	1000
28	30	1500	90	24	7000
29	30	1000	91	12	500
30	30	4000	92	12	3000
31	30	10000	93	12	1000
32	30	2000	94	12	1500

33	30	20000	95	12	1000
34	30	2000	96	12	2000
35	30	20000	97	12	2000
36	30	5000	98	12	2000
37	30	25000	99	12	5000
38	30	10000	100	12	10000
39	30	5000	101	12	1000
40	14	1000	102	24	1500
41	14	1500	103	24	500
42	14	3000	104	24	4000
43	14	5000	105	14	500
44	14	1750	106	14	500
45	14	4000	107	14	3000
46	16	1000	108	14	9000
47	16	1500	109	14	1000
48	16	1000	110	30	8000
49	24	500	111	30	3000
50	24	6000	112	30	30000
51	24	12000	113	30	5000
52	24	10000	114	30	5000
53	24	6000	115	30	2000
54	24	25000	116	30	8000
55	24	10000	117	30	4000
56	24	5000	118	30	2000
57	12	1000	119	30	6000
58	12	2000	120	30	20000
59	12	3000	121	30	3000
60	12	7500	122	30	25000
61	12	1000	123	30	2500
62	12	2000			

Malang, januari 2007

**Mengetahui,
Kepala Sub Seksi**

Himawan Ratmanto, ST