UNIVERSITAS
GADJAH MADA
AUDIT ENERGI CRUDE TRANSFER PUMP PADA INDUSTRI MIGAS
Anggoro Laily Budiono, Prof. Dr-Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.S.E., IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
HALAMAN PERNYATAAN iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR iv
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN v
INTISARI vi
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR NOTASI xii
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR LAMPIRAN xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Asumsi dan Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II KAJIAN PUSTAKA 5
2.1 Manajemen Energi 5
2.2 Audit Energi 6
2.2.1 Kebutuhan Audit Energi 6
2.2.2 Jenis Audit Energi 7
2.2.3 Audit Energi Pompa Sentrifugal 9
BAB III DASAR TEORI 12
3.1 Pompa 12
3.1.1 Pengertian Pompa dan Jenis-Jenis Pompa 12
3.1.2 Head Pompa 16

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
AUDIT ENERGI CRUDE TRANSFER PUMP PADA INDUSTRI MIGAS
Anggoro Laily Budiono, Prof. Dr-Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.S.E., IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.1.3 Kapasitas Pompa 18
3.1.4 Efisiensi Pompa 19
3.1.5 Karakteristik Pompa Sentrifugal 21
3.2 Sistem perpipaan 27
3.2.1 Jenis-jenis fluida 27
3.2.2 Prinsip-Prinsip Aliran 29
3.2.3 Kerugian Head Akibat Gesekan Dalam Pipa (*Major Losses*) 30
3.2.4 Kerugian-Kerugian Kecil (*Minor losses*) 34
3.2.5 Kurva Head Sistem 37
3.3 Unjuk Kerja Motor Listrik 41
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 43
4.1 Waktu dan Lokasi Penelitian 43
4.2 Objek Penelitian 43
4.3 Alat Ukur yang Digunakan 43
4.3.1 *Power Analizer* 44
4.3.2 *Ultrasonic Flow Meter* 44
4.3.3 *Infrared Termometer* 44
4.3.4 *Pressure gauge* 44
4.3.5 *Stroboscope* 44
4.3.6 *Dynamometer* 44
4.4 Pengumpulan Data 45
4.4.1 Data *Lay Out* Peralatan 45
4.4.2 Data Spesifikasi Pompa 45
4.4.3 Data Parameter Hasil Perhitungan 45
4.4.4 Data Report Pompa Sebelumnya 46
4.5 Rancangan studi 46
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 48
5.1 Stasiun A 49
5.2 Stasiun B dan C 61
5.3 Analisa Biaya 70
5.3.1 Biaya Karena Penurunan Unjuk Kerja CTP 70

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
AUDIT ENERGI CRUDE TRANSFER PUMP PADA INDUSTRI MIGAS
Anggoro Laily Budiono, Prof. Dr-Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.S.E., IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.3.2 Peluang Penghematan jika CTP bekerja pada kondisi *design* 71
BAB VI PENUTUP 72
6.1 Kesimpulan 72
6.2 Rekomendasi Audit Energi 73
6.3 Saran 80
DAFTAR PUSTAKA 82
LAMPIRAN 83

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

AUDIT ENERGI CRUDE TRANSFER PUMP PADA INDUSTRI MIGAS
Anggoro Laily Budiono, Prof. Dr-Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.S.E., IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

bhp	=	*brake horse power*
bkw	=	*brake kilowatt (kW)*
C_1	=	Kosentrasi *tracer* yang diinjeksikan (kg/kg)
C_2	=	Kosentrasi *tracer* pada posisi *downstream* selama periode konsentrasi konstan (kg/kg)
D	=	Diameter (m)
f	=	*Friction factor*
H	=	Head (m)
H_{act}	=	Head gabungan pompa aktual yang disusun paralel (m)
H_d	=	Head discharge (m)
H_{design}	=	Head gabungan pompa design yang disusun paralel (m)
h_f	=	*Friction head loss (m)*
h_L	=	*Minor losses* yang dihitung dengan pendakatan panjang equivalen (m)
HP_{np}	=	Daya output motor pada beban penuh, HP name plate (HP)
H_s	=	Head suction (m)
I	=	Arus listrik beban motor (Ampere)
K	=	*Minor losses coefisient*
k	=	Faktor proporsionalitas
L_e	=	Panjang ekuivalen pada sambungan, valve, dll (m)
n	=	Kecepatan putaran impeller pompa (RPM)
NPSH	=	*Net Positive suction Head* (KPa)
$NPSH_A$	=	*Net Positive suction Head Available* (KPa)
$NPSH_R$	=	*Net Positive suction Head Requerement* (KPa)
N_s	=	Kecepaan spesifik pompa
P_{atm}	=	Tekanan atmosfer (KPa)
P_d	=	Tekanan discharge (KPa)
PF	=	Power Faktor
Ph	=	Tekanan header (KPa)
$P_{in,mot}$	=	Daya input motor listrik (kW)
$P_{out,mot}$	=	Daya output motor listrik aktual (kW)
P_s	=	Tekanan suction (KPa)
P_{sg}	=	Tekanan *gauge* pada sisi isap (KPa)
Q	=	Debit (m^3/s)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
AUDIT ENERGI CRUDE TRANSFER PUMP PADA INDUSTRI MIGAS
Anggoro Laily Budiono, Prof. Dr-Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.S.E., IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

q_l	=	Laju aliran massa tracer (kg/s)
q_{cw}	=	Laju aliran massa cairan (kg/s)
Q_{max}	=	Debit maksimal (m^3/s)
Q_{min}	=	Debit minimal (m^3/s)
Q_{opt}	=	Debit optimal (m^3/s)
Q_{sch}	=	Debit puncak (m^3/s)
$Qt_{ot,act}$	=	Debit total aktual pompa yang disusun paralel (kg/m^3)
$Qt_{ot,design}$	=	Debit total design pompa yang disusun paralel (kg/m^3)
R_e	=	*Reynolds number*
R_h	=	Jari-jari hidrolis
SG	=	*Specific Gravity*
TEFC	=	*Total Enclosed Fan Cooled*
TH	=	Total Head (m)
V	=	Sumber tegangan motor (Volt)
v	=	Kecepatan aliran fluida (m/s)
V_d	=	Kecepatan aliran pada sisi discharge (m/s)
V_s	=	Kecepatan aliran pada sisi suction (m/s)
whp	=	*water horse power*
wkw	=	*water kilowatt (kW)*
Z_d	=	Ketingian *pressure gaug*e sisi discharge terhadap *datum reference* (m)
Z_s	=	Ketingian *pressure gaug*e sisi suction terhadap *datum reference* (m)
$\eta_{act,system}$	=	Efisiensi aktual sistem pompa yang disusun secara paralel
$\eta_{design,system}$	=	Efisiensi design sistem pompa yang disusun paralel
η_h	=	Efisiensi hidrolis
η_{mot}	=	Efisiensi motor
η_{pump}	=	Efisiensi pompa
η_t	=	Efisiensi total
η_v	=	Efisiensi volumetris
μ	=	*Dinamic viscosity* (cP)
ν	=	*Kinematic viscosity* (cSt)
ρ	=	Massa jenis (kg/m^3)
τ	=	*Shear stress*
γ	=	Berat jenis cairan (N/m^3)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
AUDIT ENERGI CRUDE TRANSFER PUMP PADA INDUSTRI MIGAS
Anggoro Laily Budiono, Prof. Dr-Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.S.E., IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konsep dasar pelaksanaan Audit Energi	9
Gambar 3.1	Jenis-jenis pompa reciprocating : plunger,piston,difragma	13
Gambar 3.2	Pompa sudu luncur	14
Gambar 3.3	Pompa roda gigi	14
Gambar 3.4	Pompa lobe	15
Gambar 3.5	Pompa sekrup	15
Gambar 3.6	Bentuk-bentuk impeller dan jenis alirannya	16
Gambar 3.7	Pengukuran Head	18
Gambar 3.8	Pebedaan kurva karakteristik pompa sentrifugal dan torak	21
Gambar 3.9	Kurva karakteristik pompa sentrifugal	22
Gambar 3.10	Kurva karakteristik yang dikeluarkan pabrikan	23
Gambar 3.11	Perubahan kurva karakteristik pompa karena perubahan kecepatan	24
Gambar 3.12	Pompa yang disusun secara paralel	26
Gamabr 3.13	Pompa yang disusun secara seri	27
Gambar 3.14	Aliran fluida dengan kecepatan u berubah terhadap arah y	28
Gambar 3.15	Rheogram fluida Newtonian	28
Gambar 3.16	Aliran fluida melalui pipa tirus	30
Gambar 3.17	Diagram Moody	33
Gambar 3.18	Koefisien *Head Loss* untuk *smooth pipe bend*	36
Gambar 3.19	Koefisien *Head Loss* untuk difuser	37
Gambar 3.20	Head statik total	39
Gambar 3.21	Kurva Head sistem	39
Gambar 3.22	Perubahan pada komponen Head statik pada kurva Head sistem	40
Gambar 3.23	Perubahan pada komponen Head gesekan pada kurva Head sistem	40
Gambar 4.1	Diagram alir penelitian	47

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
AUDIT ENERGI CRUDE TRANSFER PUMP PADA INDUSTRI MIGAS
Anggoro Laily Budiono, Prof. Dr-Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.S.E., IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.1	Perbandingan nilai Head aktual dan *rated* untuk pompa CTP#8 dan CTP#11	53
Gambar 5.2	Perbandingan nilai Head aktual dan *rated* unutk pompa CTP#15	54
Gambar 5.3	Perbandingan nilai bkw aktual dan *rated* untuk pompa CTP#8 dan CTP#11	54
Gambar 5.4	Perbandingan nilai bkw aktual dan *rated* untuk pompa CTP#15	55
Gambar 5.5	Perbandingan nilai efisiensi aktual dan *rated* untuk pompa CTP#8 dan CTP11	55
Gambar 5.6	Perbandingan nilai efisiensi aktual dan *rated* untuk pompa CTP#15	56
Gambar 5.7	Menentukan nilai Head *rated* aktual dan design dari CTP yang disusun paralel	59
Gambar 5.8	Pergeseran kurva karakteristik sistem di stasiun A	60
Gambar 5.9	Menentukan Head *rated* pada kondsi terukur	63
Gambar 5.10	Perbandingan bhp *rated* dan aktual untuk CTP#1	65
Gambar 5.11	Perbandingan bhp *rated* dan aktual untuk CTP#2	66
Gambar 5.12	Perbandingan bhp *rated* dan aktual untuk CTP#4	66
Gambar 5.13	Perbandingan efisiensi *rated* dan aktual CTP#1	67
Gambar 5.14	Perbandingan efisiensi *rated* dan aktual CTP#2	67
Gambar 5.15	Perbandingan efisiensi *rated* dan aktual CTP#4	68
Gambar 5.16	Pergeseran kurva karakteristik sistem di stasiun C	69
Gambar 6.1	Skenario penghematan energi dengan VSD	73
Gambar 6.2	Kondisi CTP pada saat pengukuran di stasiun A	74
Gambar 6.3	Head dan debit yang dibentuk dua CTP SULZER 300HP dan IR 400HP	78
Gambar 6.4	Head dan debit yang dbentuk dua pompa CTP IR 400 HP	78
Gambar 6.5	Penggunaan 2 Ingersol Rand 400 HP	79
Gambar 6.6	kurva karakteristik pompa SULZER APP 22-4	80

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
AUDIT ENERGI CRUDE TRANSFER PUMP PADA INDUSTRI MIGAS
Anggoro Laily Budiono, Prof. Dr-Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.S.E., IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Populasi Serta Proyeksi Kebutuhan Energi di Indonesia	1
Tabel 3.1	*Absolute Rougness*,e, untuk berbagai tipe pipa	33
Tabel 3.2	Koefisien *Headloss* pada beberapa sambungan	35
Tabel 3.3	Nilai Koefisien *Headloss*,K, pada *Fitting*	36
Tabel 4.1	Detail keberadaan pompa *crude oil transfer* di tiga stasiun	43
Tabel 5.1	Pelaksanaan pengukuran	48
Tabel 5.2	Hasil pengukuran di stasiun A	49
Tabel 5.3	Hasil perhitungan untuk masing-masing pompa di stasiun A	52
Tabel 5.4	Perbandingan kondisi aktual dan design di stasiun A	52
Tabel 5.5	Perbandingan arus beban motor pada kerja optimal dan nilai aktual di stasiun A	57
Tabel 5.6	Debit pompa pada kerja optimal, design dan aktual di stasiun A	57
Tabel 5.7	Hasil pengukuran CTP di stasiun B dan C	61
Tabel 5.8	Hasil perhitungan masing-masing pompa di stasiun B dan C	64
Tabel 5.9	Perbandingan kondisi aktual dan design di stasiun B dan C	64
Tabel 5.10	Debit pompa pada kerja optimal, design dan aktual di stasiun B dan C	65
Tabel 5.11	Pebandingan arus beban motor pada kerja optimal dan nilai aktual di stasiun B dan C	65
Tabel 5.12	Biaya karena penurunan unjuk kerja CTP	70
Tabel 5.13	Peluang penghematan jika pompa bekerja pada kondisi design	71
Tabel 6.1	Penghematan maksimal dengan VSD	75
Tabel 6.2	Operasi kerja pompa jika valve dihilangkan	76
Tabel 6.3	Operasi kerja pompa jika rpm diturunkan sampai 75% nilai *rated*-nya	77
Tabel 6.4	Penghematan dengan penurunan rpm 75% dari rpm *rated*	77

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
AUDIT ENERGI CRUDE TRANSFER PUMP PADA INDUSTRI MIGAS
Anggoro Laily Budiono, Prof. Dr-Ing. Ir. Harwin Saptoadi, M.S.E., IPM. ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Efisiensi Rata-rata dari berbagai *size* motor berdasarkan load-nya (US.DOE, 1997) 83
Lampiran 2. Kurva karakteristik pompa CTP#8 dan CTP#11 84
Lampiran 3. Kurva karakteristik pompa CTP#15 85
Lampiran 4. Kurva karakteristik pompa CTP#1 86
Lampiran 5. Kurva karakteristik pompa CTP#2 87
Lampiran 6. Kurva karakteristik pompa CTP#4 88
Lampiran 7. P&ID Stasiun Kaji 89