



TESIS - TF092325

**IDENTIFIKASI DAN OPTIMASI STEAM EJECTOR
UNIT GAS REMOVAL SYSTEM PADA PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA PANAS BUMI KAMOJANG**

ROEKMONO

NRP. 2411201001

Dosen Pembimbing

Dr. Gunawan Nugroho, ST , MT

Dr. Totok Ruki Biyanto, ST , MT

PROGRAM MAGISTER

JURUSAN TEKNIK FISIKA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014



THESIS - TF092325

**IDENTIFICATION AND OPTIMIZATION OF STEAM
EJECTOR UNIT REMOVAL SYSTEM ON GAS
POWER PLANT GEOTHERMAL KAMOJANG**

ROEKMONO

ID No. 2411201001

SUPERVISORS

Dr. Gunawan Nugroho, ST , MT

Dr. Totok Ruki Biyanto, ST , MT

MAGISTER PROGRAM

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014

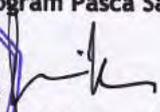
**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknologi (M.T)
Di
Jurusan Teknik Fisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember ITS**

**Oleh :
Roekmono
2411201001**

**Tanggal Ujian : 14 Juli 2014
Periode Wisuda : September 2014**

Disetujui oleh :

1. Pembimbing I : Dr. Gunawan Nugroho, ST , MT 1).....
NIP : 9771127 2002121 002
2. Pembimbing II : Dr. Totok Ruki Biyanto, ST , MT 2).....
Nip : 19710702 1998021 001
3. Penguji 1 : Dr. Ir. Ali Musyafa, MSc 3).....
NIP : 19600901 1987011 001
4. Penguji 2 : Dr. Dotty Dewi Risanti, ST , MT 4).....
NIP : 19740903 1998022 001
5. Penguji 3 : Dr. Ridho Hantoro, ST , MT 5).....
NIP : 19761223 2005011 001

Direktur Program Pasca Sarjana - ITS

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 196404051990021001



IDENTIFIKASI DAN OPTIMASI STEAM EJECTOR UNIT GAS REMOVAL SYTEM PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI KAMOJANG

Nama : Roekmono
Nrp : 2411201001
Pembimbing 1 : Dr. Gunawan Nugroho , ST , MT
Pembimbing 2 : Dr. Totok Ruki Biyanto , ST , MT

ABSTRAK

Salah satu komponen terpenting pada PLTP Kamojang adalah *steam ejector*, dimana komponen ini adalah unit dari *gas removal sistem* (GRS), hal ini berfungsi untuk menjaga kevakuman di kondensor. Uap di area geothermal Kamojang mengandung *non-condensable gas* (NCG), yang tidak dapat dikondensasikan di kondensor dan mengakibatkan kenaikan tekanan oleh gas. Gas-gas yang tidak dapat dikondensasi di kondensor akan mengakibatkan kenaikan tekanan oleh gas, hal ini menyebabkan turunnya nilai kerja turbin PLTP

Permasalahan pada tesis ini adalah menerapkan metode yang sesuai pada pembuatan model, membuat problem formulasi dan menerapkan metode yang sesuai dalam mengoptimalkan kinerja *steam ejector*. *Steam ejector* sudah digunakan di PLTP Kamojang, namun saat beroperasi mungkin dioperasikan pada kondisi operasi yang berbeda dengan desain, maka optimasi *steam ejector* yang sudah terpasang diperlukan. Dalam mengoptimalkan *steam ejector* ini diperlukan tiga komponen meliputi: model *steam ejector*, problem formulasi, dan teknik optimasi. Model yang digunakan pada tesis ini adalah model dengan struktur ARMAX. Struktur ARMAX dipilih karena stabil. Adapun metode optimasi yang dipakai adalah metode ekspansi deret Taylor. Metode ekspansi deret Taylor dipilih karena mampu menentukan nilai kapasitas maksimum *noncondensable-gas*

(NCG) dalam batas kondisi beroperasi, agar didapat nilai kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector*.

Kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) sebesar 4189,8 kg/hr yang dapat dihisap *steam ejector* dan kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) sebesar 6276,0 kg/hr yang dihasilkan pada aliran *ejector*, mempunyai arti bahwa kevakuman tekanan kondensor dapat dijaga pada besaran 4189,8 kg/hr NCG yang dihisap *steam ejector* dan besaran 6276,0 kg/hr kapasitas DAE yang dihasilkan pada aliran *ejector*.

Kata kunci: *gas removal system* (GRS), *noncondensable-gas* (NCG), *motive steam* (MS), *dry air equivalent* (DAE)

IDENTIFICATION AND OPTIMIZATION OF STEAM EJECTOR REMOVAL SYSTEM GAS UNIT IN GEOTHERMAL POWER PLANT KAMOJANG

By : Roekmono
Student Identity Number : 2411201001
Supervisor : Dr. Gunawan Nugroho , ST , MT
: Dr. Totok Ruki Biyanto , ST , MT

ABSTRACT

One of the most important components in geothermal power plants are steam ejector Kamojang, where this component is a unit of gas removal system (GRS), it serves to maintain the vacuum in the condenser. In the area of geothermal steam containing non-condensable Kamojang gas (NCG), which can not be condensed in the condenser and the resulting increase in pressure by the gas. Gases that can not be condensed in the condenser will result in increased pressure by gas, this causes the falling value of the turbine work PLTP.

The problem in this thesis is to apply the appropriate method on modeling, making the problem formulation and apply the appropriate method in optimizing the performance of steam ejectors. Steam ejectors have been used in geothermal power plants Kamojang, but when the operation may be operated at different operating conditions with the design, the optimization of steam ejector is mounted needed. In the steam ejector is necessary to optimize the three components include: models of steam ejectors, problem formulation, and optimization techniques. The model used in this thesis is a model with ARMAX structure. ARMAX chosen because of stable structures. The optimization method used in this thesis is the Taylor series expansion method. Taylor series expansion method chosen because it is able to determine the value of the maximum capacity of

noncondensable gases (NCG) in the limit operating conditions, in order to obtain the value of the maximum capacity of cleaning water equivalent (DAE) resulting in flow ejector.

Maximum capacity noncondensable gas (NCG) of 4189.8 kg / hr which can be inhaled steam ejector and a maximum capacity of cleaning water equivalent (DAE) of 6276.0 kg / hr resulting in flow ejectors, vacuum pressure means that the condenser can be maintained the amount of 4189.8 kg / hr of steam ejectors NCG smoked and the amount of 6276.0 kg / hr capacity DAE resulting in flow ejector.

Key words: gas removal system (GRS), noncondensable-gas (NCG), motive steam (MS), dry air equivalent (DAE).

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Dia adalah Tuhan Yang Maha Rahman dan Rahim. Dia yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis ini, sesuai dengan waktu yang diharapkan. Laporan tesis ini disusun guna memenuhi persyaratan bagi seorang mahasiswa pasca sarjana untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) pada Jurusan Teknik Fisika ITS. Penulis mengucapkan terima kasih pada pihak-pihak yang telah meluangkan waktu dan perhatian, sehingga baik langsung maupun tidak langsung turut membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tesis ini. Ucapan terima kasih ini penulis tujukan kepada:

- Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS yang memberikan izin sehingga dapat melaksanakan tesis.
- Dr. Ir. Aulia Siti Aisyah, MT, selaku Kaprodi Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Fisika ITS yang telah memberikan persetujuan dalam pengajuan tesis ini.
- Dr. Gunawan Nugroho, ST., MT, dan Dr. Totok Ruki Biyanto, ST., MT, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi penuh harapan, ketulusan, keikhlasan, kesabaran dan arahan bagi kelancaran tesis ini.
- Dr. Ir. Ali Musyafa, Msc, Dr. Ridho Hantoro, ST., MT, dan Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, ST., MT, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan bantuan dalam penyelesaian tesis ini.
- Dr. Dhany Arifianto, ST M.Eng, Agus Muhammad Hatta Ph.D, Dr. Ir. Ali Musyafa, Msc, Ir. Ya'umar, MT, Ir. Yerry Susatyo, MT, Katherin Indriawati, ST., MT, dosen pengajar yang telah mendidik penulis selama menjadi mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Fisika ITS.

- Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, Msc, selaku dosen Pasca Sarjana Jurusan Teknik Fisika ITS, yang selalu memberikan bimbingan, motivasi penuh harapan, dan arahan bagi kelancaran tesis ini.
- Istri tercinta, anak-anak saya: Ranti Permata Sari, ST, Riska Wulan Sari, ST, dan Ratri Kartika Sari, semuanya telah memberikan kasih sayang dan memberikan dukungan moril kepada penulis, juga doa yang tak henti-hentinya dipanjatkan untuk kelancaran pelaksanaan tesis ini.
- Teman-teman mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Fisika ITS, yang telah banyak membantu penulis dalam pengerjaan, serta dalam mewujudkan pembuatan laporan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya, harapan penulis semoga sekedar tulisan singkat laporan tesis mengenai Identifikasi Dan Optimasi Steam Ejector Unit Gas Removal System Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Kamojang ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 14 Juli 2014

Penulis .

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Relevansi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Energi Geothermal	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)	5
2.2.1 Prinsip Transfer Panas dan Kerja	7
2.2.2 Pengaruh Tekanan Kondensor Pada Siklus Pembangkit Tenaga Uap	9
2.3 Struktur Model ARMAX	11
2.3.1 Pemodelan Steam Ejector dengan Struktur ARMAX	11
2.4 Optimasi Steam Ejector	13
2.4.1 Konsep Dasar Optimasi	13
2.4.2 Ekspansi Deret Taylor	13

BAB III	METODE IDENTIFIKASI DAN OPTIMASI	17
3.1	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)	
	Kamojang	17
3.2	Steam Ejector	18
3.3	Identifikasi Steam Ejector Menggunakan ARMAX	20
3.4	Metodologi	21
	3.4.1 Pengukuran Data Steam Ejector	23
	3.4.2 Pengolahan Data Steam Ejector	24
3.5	Optimasi Steam Ejector	27
	3.5.1 Optimasi Steam Ejector dengan Struktur ARMAX	27
	3.5.2 Lokal Optimal Steam Ejector	29
BAB IV	ANALISA IDENTIFIKASI DAN OPTIMASI	31
4.1	Analisa Identifikasi Steam Ejector	31
	4.1.1 Korelasi Data Steam Ejector	31
	4.1.2 Identifikasi Steam Ejector dengan ARMAX	34
	4.1.3 Model Fungsi Transfer Steam Ejector	35
	4.1.4 Model Fungsi Objektif Steam Ejector	36
4.2	Analisa Optimasi Steam Ejector	38
	4.2.1 Kapasitas Optimal NCG	38
	4.2.2 Kapasitas Optimal DAE	40
BAB V	KESIMPULAN	43
5.1	Kesimpulan	43
	DAFTAR PUSTAKA	45
	LAMPIRAN	47
	A. Data Pengukuran Steam Ejector	47
	B. Listing Program Matlab Identifikasi Steam Ejector	52
	DAFTAR PUBLIKASI	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Grafik pengaruh NCG vs <i>turbin power output</i>	2
Gambar 2.1	Prinsip kerja PLTU	6
Gambar 2.2	Prinsip kerja PLTP	7
Gambar 2.3	Diagram T-S pengaruh tekanan kondensor	10
Gambar 2.4	Grafik titik lokal maksimum dan minimum	14
Gambar 3.1	Proses flow diagram PLTP Kamojang	17
Gambar 3.2	Proses flow diagram <i>steam ejector</i>	19
Gambar 3.3	Skema diagram <i>steam ejector</i>	20
Gambar 3.4	Struktur ARMAX untuk <i>steam ejector</i>	21
Gambar 3.5	Diagram alir tahapan tesis	23
Gambar 3.6	Diagram alir distribusi dan korelasi <i>steam ejector</i>	25
Gambar 3.7	Distribusi DAE dengan NCG <i>steam ejector</i>	26
Gambar 3.8	Distribusi DAE dengan MS <i>steam ejector</i>	26
Gambar 4.1	Diagram alir listing program identifikasi <i>steam ejector</i>	32
Gambar 4.2	Korelasi DAE dengan NCG <i>steam ejector</i>	33
Gambar 4.3	Korelasi DAE dengan MS <i>steam ejector</i>	33
Gambar 4.4	Model karakteristik <i>steam ejector</i>	37
Gambar 4.5	Karakteristik fungsi objektif <i>steam ejector</i> (t=hari=52)	37
Gambar 4.6	Karakteristik fungsi objektif <i>steam ejector</i> (t=hari=73)	38

Gambar 4.7	Karakteristik derivatif pertama fungsi objektif <i>steam ejector</i> (t=hari=52)	39
Gambar 4.8	Karakteristik derivatif pertama fungsi objektif <i>steam ejector</i> (t=hari=73)	39
Gambar 4.9	Karakteristik derivatif kedua fungsi objektif <i>steam ejector</i> (t=hari=52)	40
Gambar 4.10	Karakteristik derivatif kedua fungsi objektif <i>steam ejector</i> (t=hari=73)	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Tabel Gas Komponen dan Kandungan NCG Panas Bumi Dunia	2
Tabel 2.1	Panas Bumi Indonesia	6
Tabel 3.1	Pemilihan Gas Removal System	20

DAFTAR SIMBOL

\dot{Q}_{cv}	: Laju panas control volume	(kJ/det)
\dot{W}_t	: Laju kerja turbin	(kJ/det)
\dot{m}	: Laju massa uap	(kg/det)
h_1	: Entalpi masuk turbin	(kJ/kg)
h_2	: Entalpi keluar turbin	(kJ/kg)
V_1^2	: Kecepatan aliran uap masuk turbin	(m/det)
V_2^2	: kecepatan aliran uap keluar turbin	(m/det)
g	: Percepatan gravitasi	(m/det ²)
z_1	: Elevasi masukkan turbin	(m)
z_2	: Elevasi keluaran turbin	(m)
\dot{Q}_{out}	: Laju panas keluar kondensor	(kJ/det0)
h_3	: Entalpi keluar kondensor	(kJ/kg)
\dot{W}_p	: Laju kerja pompa	(kJ/det)
h_4	: Entalpi keluar kondensor	(kJ/kg)
\dot{Q}_{in}	: Laju panas boiler	(kJ/det0)
h_4	: Entalpi masuk boiler	(kJ/kg)
η	: Efisiensi termal	(%)
\dot{m}_{NCG}	: Laju massa NCG	(kg/hr)
\dot{m}_{MS_1}	: Laju massa motive steam stage 1	(kg/hr)
\dot{m}_{IC}	: Laju massa inter condenser	(kg/hr)
\dot{m}_{MS_2}	: Laju massa motive steam stage 2	(kg/hr)
\dot{m}_{AC}	: Laju massa after condenser	(kg/hr)

\dot{m}_{CS_1}	: Laju massa condensate stage 1	(kg/hr)
\dot{m}_{CS_2}	: Laju massa condensate stage 2	(kg/hr)
\dot{m}_{DAE}	: Laju massa DAE	(kg/hr)
y_1	: Output steam ejector	(kg/hr)
u_1	: Input steam ejector NCG	(kg/hr)
u_2	: Input steam ejector MS	(kg/hr)
$f(x)$: Fungsi objektif	(kg/hr)
x^*	: Titik lokasi maksimum	(kg/hr)
f'	: Derivatif pertama fungsi objektif $f(x)$	(kg/hr)
f''	: Derivatif kedua fungsi objektif $f(x)$	
$\frac{dy_1}{dt}$: Derivatif pertama fungsi objektif y_1	(kg/hr)
$\frac{d^2y_1}{dt^2}$: Derivatif kedua fungsi objektif y_1	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) Kamojang merupakan pembangkit daya listrik dengan sumber daya panas bumi (geothermal) sebagai penyedia uap yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi. Uap pada geothermal mengandung *noncondensable-gas* (NCG). Gas dalam kondensor dapat diekstrak dengan menggunakan peralatan yang pemilihannya tergantung dari kapasitas suction, tekanan vacuum dalam kondensor dan temperatur *cooling water*. Oleh sebab itu *gas removal system* (GRS) yang berfungsi untuk menjaga kevakuman tekanan di kondensor adalah sangat penting.

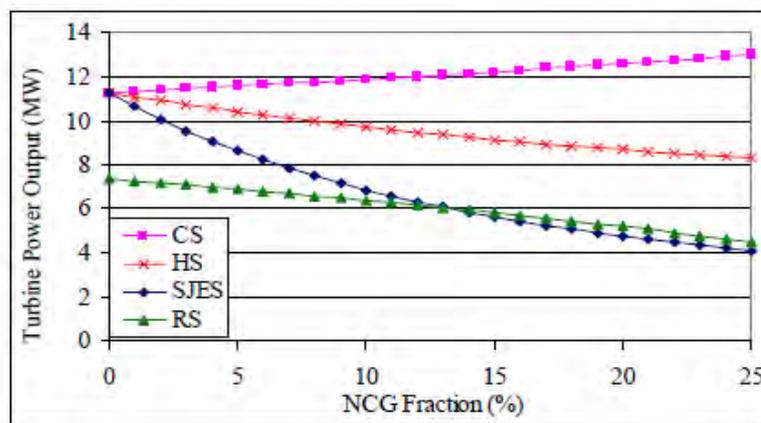
NCG yang tidak dapat dikondensasikan pada kondensor, mengakibatkan tekanan gas meningkat. Hal ini menyebabkan turunnya nilai kerja turbin PLTP. Indikator performansi dari unit adalah *dry air equivalent* (DAE). DAE merupakan unit mutlak yang merupakan hasil kinerja dari setiap tahap *steam ejector* atau kata lain DAE adalah data output dari kinerja kapasitas *steam ejector*. DAE adalah ekuivalen aliran massa 70°F udara kering dan merupakan standart PLTP untuk kapasitas *steam ejector*.

Unit *gas removal system* (GRS) pada PLTP Kamojang merupakan *hybrid system* antara *steam ejector* dan *liquid ring vacuum pump* (LRVP). *Steam ejector* umumnya dipakai di area geothermal dengan kandungan NCG yang rendah (f lebih besar 2,5%, dan lebih kecil 5%). Perbandingan gas di dalam uap yang terdapat pada area geothermal berdasarkan antara satu dan lainnya dan dinyatakan dengan persentase berat dalam uap atau kata lain dinyatakan f: $NCG \%W_t$ (NASH, 2007), bahkan antara sumur satu dan lainnya. Tabel 1.1 data gas yang terkandung dalam NCG dan besarnya kandungan NCG dalam *steam*, di beberapa lapangan panas bumi dunia.

Tabel 1.1 Tabel Gas Komponen dan Kandungan NCG Panas Bumi Dunia
(NASH, 2007)

Kandungan Gas dalam NCG	Larderello Italia	Geysers USA	Wairakel NZ	Broadlands NZ	Kamojang Indonesia
CO2 (% massa NCG)	95,9	82,5	97,3	93,4	95,3
H2S (% massa NCG)	1	4,5	2,3	0,7	1,5
CH4 (% massa NCG)	0,1	6,6	0,1	0,6	0,35
H2 (% massa NCG)	diabaikan	1,4	diabaikan	diabaikan	diabaikan
N2 (% massa NCG)	2,8	1,2(n2Ar)	0,3	4,2	2,1
He,Ar,Ne (% NCG)	0,2	3,8 (NH3)	0	1,1 (+O2)	0,5
Kandungan NCG dalam steam	10 %	1 %	0,20 %	3-6 %	1-2 %

Adanya NCG di dalam uap menurunkan performansi dari turbin dan kondensor. NCG menurunkan exergy dari fluida dan ekstraksi gas dari kondensor membutuhkan konsumsi daya/kerja *ejector*. Pengaruh dari NCG %Wt versus turbin power (MW) ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Grafik pengaruh NCG vs turbin power output (Y Ö, Nurdan. 2010)

Gambar 1.1, diatas merupakan ilustrasi hubungan 11 MW (*turbin power output*) dari *power plant*. *Gas removal system* (GRS) dapat diklasifikasikan dalam tipe yang berdasarkan kapasitas laju alirannya yaitu *steam ejector*, jenis ini biasanya sesuai untuk digunakan dalam merancang aliran gas tidak terkondensasi.

Walaupun *steam ejector* sudah dipergunakan di PLTP Kamojang, namun saat

beroperasi mungkin dioperasikan pada kondisi operasi yang berbeda dengan desain, maka optimasi *steam ejector* yang sudah terpasang diperlukan. Dalam mengoptimasikan *steam ejector* ini diperlukan tiga komponen meliputi: model *steam ejector*, problem formulasi, dan teknik optimasi. Ketersediaan data dan kebutuhan di lapangan untuk mengoptimalkan kinerja maksimum *steam ejector* seperti disebut diatas, menjadikan latar belakang tesis ini.

Model yang digunakan pada tesis ini adalah model dengan struktur ARMAX. Struktur ARMAX dipilih karena stabil, memiliki koefisien C (tidak dimiliki oleh ARX) dapat digunakan untuk mengestimasi fungsi *transfer error*, ketika dibagi dengan koefisien A. Sinyal input untuk fungsi *transfer error* diasumsikan berupa *noise gaussian*, sesuai dengan *plant* yang terpasang dengan data operasi tersedia, dan ARMAX lebih baik dari pada ARX khususnya untuk *plant* ini (Oates, Robert, 2009).

Metode optimasi yang dipakai pada tesis ini adalah metode ekspansi deret Taylor.(Arora, Jabir S, 1989). Metode ekspansi deret Taylor ini dipilih karena mampu menentukan nilai kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dapat dihisap oleh *steam ejector* dalam batas kondisi beroperasi, agar didapat nilai kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran ejector.

1.2 Permasalahan

Permasalahan pada tesis ini adalah penerapan metode yang sesuai pada pembuatan model, pembuatan problem formulasi dan penerapan metode optimasi yang sesuai dalam menentukan kemampuan kinerja *steam ejector*.

1.3 Batasan Masalah

Data *noncondensable-gas* (NCG) dan *motive steam* (MS) yang ditetapkan sebagai *input steam ejector*, demikian pula *dry air equivalent* (DAE) ditetapkan sebagai output *steam ejector*.

1.4 Tujuan

Menentukan kondisi optimum kinerja *steam ejector* atau kapasitas maksimum NCG yang dapat dihisap oleh *steam ejector*, agar didapat kapasitas maksimum DAE yang dihasilkan pada aliran *ejector*.

1.5 Relevansi

Motivasi penelitian identifikasi dan optimasi *steam ejector* unit *gas removal system* pada pembangkit tenaga panas bumi (PLTP) Kamojang adalah karena aplikasi lebih lanjut optimasi terhadap PLTP yang digambarkan sebagai berikut :

- Identifikasi terhadap *steam ejector* yang ditetapkan sebagai fungsi objektif.
- Optimasi dilakukan terhadap fungsi objektif *steam ejector* sebagai langkah untuk dapat menentukan nilai parameter objektif yang optimal.
- Hasil dari optimasi terhadap fungsi objektif, akan dapat mewujudkan kondisi kevakuman di dalam kondensor, sehingga akan dapat mewujudkan pula kinerja turbin maksimum PLTP.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Energi Geothermal

Panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung dalam air panas, uap-air, dan batuan bersama mineral ikutan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan (Saptadji, 2008). Pada umumnya panas bumi terdiri dari *carbon-dioksida* dan uap-air, serta *dry-air equivalent* (DAE) yang dikonversi dalam spesifik aliran *noncondensable-gas* (NCG). Pada dasarnya sistem panas bumi jenis hidrothermal terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas.

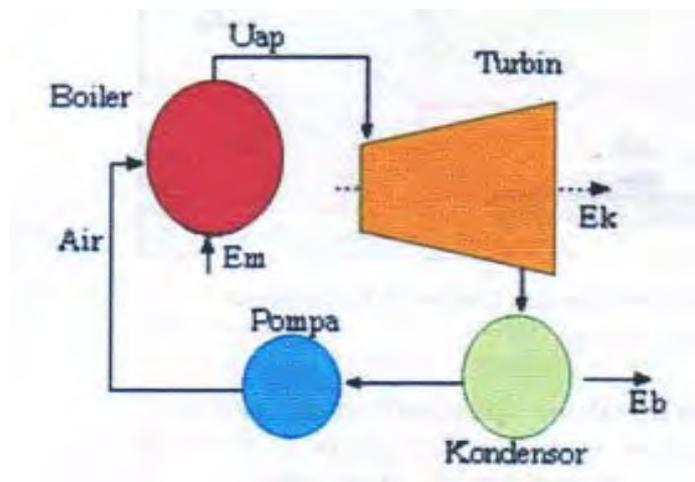
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Sistem panas bumi di Indonesia umumnya merupakan sistem hidrothermal yang mempunyai temperatur tinggi lebih besar 225°C , hanya beberapa diantaranya yang mempunyai temperatur sedang antara 150°C sampai 225°C . Pengalaman dari lapangan-lapangan panas bumi yang telah dikembangkan di Indonesia, menunjukkan bahwa sistem panas bumi bertemperatur tinggi dan sedang sangat potensial bila digunakan untuk pembangkit listrik. Potensi sumber daya panas bumi Indonesia sangat besar, yaitu sekitar 27.500 MW_e sekitar 30 – 40 % potensi panas bumi dunia. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 2.1, panas bumi di Indonesia.

Tabel 2.1 Panas Bumi Indonesia (DiPippo, 2006)

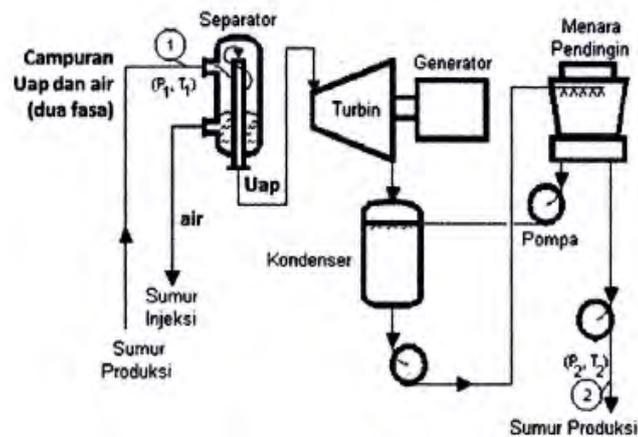
Potensi	Pro duksi	Potensial Energi (MWe)					Total Potensial Energi (MWe)
		Cadangan			Sumber Daya		
		Terbukti	Mungkin	Terduga	Hipotesis	Spekulatif	
Sumatra	2	389	15	5413	2444	6455	13158
Jawa	885	1837	503	2775	1591	2395	10253
Sulawesi	20	65	110	672	325	850	1822
Bali , NTB , NTT	0	14	0	801	353	425	1593
Maluku , Papua	0	0	0	142	117	325	584
Kalimantn	0	0	0	0	0	50	50
Total Indonesia	807	2305	728	10.027	4.613	9.467	27.140
		13.060			14.080		

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan boiler, sedangkan pada PLTP uap berasal dari *reservoir* (sumur) panas bumi, hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



PLTU

Gambar 2.1 Prinsip kerja PLTU (Saptadji, 2008)



PLTP

Gambar 2.2 Prinsip kerja PLTP (Saptadji, 2008)

2.2.1 Prinsip Transfer Panas dan Kerja

Prinsip transfer panas dan kerja dari sistem pembangkit tenaga uap yaitu transfer energi dinyatakan positif atau menghasilkan kerja (yaitu kerja untuk menggerakkan elektrik generator / pembangkit listrik). Transfer panas antara komponen *plant* dan sekelilingnya, energi kinetik dan energi potensial diabaikan, serta setiap komponen *plant* beroperasi dalam kondisi *steady state*. Prinsip dalam operasi komponen *plant* adalah konservasi massa dan konservasi energi, hal ini semua untuk menyederhanakan analisa termodinamik.

Uap dari boiler pada *state 1* mempunyai temperatur dan tekanan tinggi, kemudian mengalami proses ekspansi pada turbin dan menghasilkan kerja (yaitu menggerakkan elektrik generator), berikutnya mengalami *discharged* di kondensor pada *state 2*, dengan tekanan rendah, serta transfer panas terhadap sekeliling diabaikan. Maka keseimbangan laju energi dan massa *control volume* sekeliling turbin mengalami reduksi pada kondisi *steady state* dan dinyatakan:

$$0 = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right] \quad (2.1)$$

$= 0 \qquad \qquad \qquad = 0 \qquad \qquad \qquad = 0$

Atau :

$$\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = h_1 - h_2 \quad (2.2)$$

Pada kondisi *steady state* keseimbangan laju energi dan massa *control volume* di kondensor dinyatakan :

$$\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = h_2 - h_3 \quad (2.3)$$

Fluida kondensasi meninggalkan kondensor pada *state 3*, kemudian dipompa dari tekanan kondensor menjadi tekanan boiler, sehingga *control volume* sekeliling pompa dengan asumsi tidak ada transfer panas terhadap sekeliling. Maka keseimbangan laju energi dan massa *control volume* sekeliling pompa dinyatakan:

$$\frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} = h_4 - h_3 \quad (2.4)$$

Fluida kerja melakukan siklus lengkap ditunjukkan pada fluida kerja yang meninggalkan pompa pada *state 4* yang dinamakan *boiler feedwater* (yaitu pemanasan jenuh dan *evapored* dalam boiler). Maka *control volume* pada boiler dan *drums carrying the feedwater* dari *state 4* ke *state 1*. Sehingga keseimbangan laju energi dan massa *control volume* di boiler dan *drums carrying the feedwater* dinyatakan :

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4 \quad (2.5)$$

Effisiensi termal input energi yang diberikan pada fluida kerja melewati boiler yang dikonversikan menjadi *output* kerja netto. Maka effisiensi termal η siklus tenaga uap dinyatakan :

$$\eta = \frac{\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} - \frac{\dot{W}_p}{\dot{m}}}{\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}}} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4} \quad (2.6a)$$

Effisiensi termal η dapat dinyatakan dalam bentuk lain yaitu :

$$\eta = \frac{\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} - \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}}}{\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}}} = 1 - \frac{\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}}}{\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}}} = 1 - \frac{(h_2 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \quad (2.6b)$$

2.2.2 Pengaruh Tekanan Kondensor Pada Siklus Pembangkit Tenaga Uap .

Sejak siklus pembangkit tenaga uap ideal melakukan *proses reversibel internal*, maka efisiensi termal didapat dari temperatur rata-rata selama proses interaksi panas. Pada Gambar 2.3, dimana luasan dibawah garis proses siklus pembangkit tenaga uap adalah menyatakan sebagai transfer panas per satuan massa yang melewati masing-masing komponen siklus pembangkit tenaga uap.

Luasan 1-2"-3"-4"-4-1

Adalah menyatakan transfer panas fluida kerja per satuan massa yang melewati boiler dinyatakan:

$$\left(\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} \right)_{int, rev} = \int_4^1 T ds = Area \ 1-2''-3''-4''-4-1$$

Bentuk integral dapat ditulis dalam temperatur rata-rata (\bar{T}_{in}) dari penjumlahan panas dinyatakan:

$$\left(\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} \right)_{int, rev} = \bar{T}_{in} (s_1 - s_4)$$

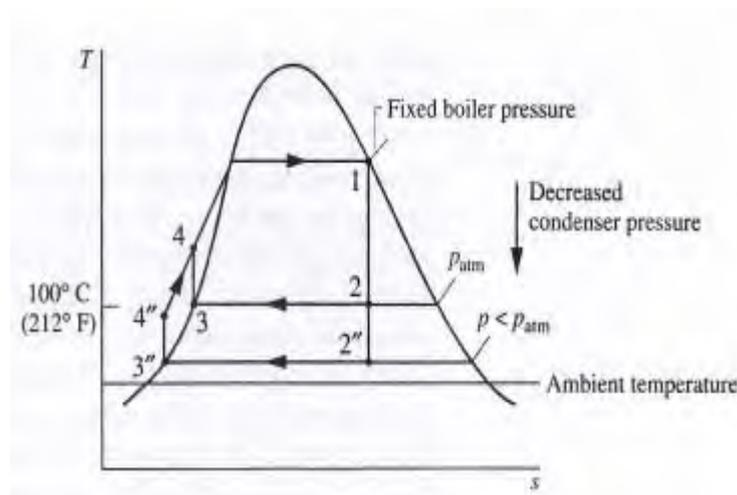
Sehingga luasan $2-2''-3''-4''-2$ adalah menyatakan transfer panas per satuan massa dari kondensasi uap yang melewati kondensor dan dinyatakan:

$$\left(\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} \right)_{int, rev} = T_{out} (s_2 - s_3) = \text{area } 2-2''-3''-4''-2 = T_{out} (s_1 - s_4)$$

Effisiensi termal siklus pembangkit tenaga uap ideal dapat dinyatakan dalam bentuk transfer panas dinyatakan:

$$\eta_{ideal} = 1 - \frac{\left(\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} \right)_{int, rev}}{\left(\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} \right)_{int, rev}} = 1 - \frac{T_{out}}{T_{in}} \quad (2.7)$$

Pengaruh penurunan tekanan kondensor dan tekanan boiler tetap (konstan) pada siklus tenaga uap ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram T-S pengaruh tekanan kondensor (Moran, 2004)

$$\left(\frac{\dot{Q}_{out}}{m} \right)_{int, rev} = T_{out} (s_2 - s_3) = area \ 2-2''-3''-4''-2 = T_{out} (s_1 - s_4)$$

menjadi lebih kecil atau dapat dikatakan bahwa luasan:

2-2''-3''-4''-2 lebih kecil luasnya dari pada luasan : 2-2''-3''-3-2 .

Sehingga efisiensi termal η akan naik pada siklus pembangkit tenaga uap, hal ini disebabkan oleh penurunan tekanan pada kondensor.

2.3 Struktur Model ARMAX

2.3.1 Pemodelan Steam Ejector dengan Struktur ARMAX

Data *input-output steam ejector* yang meliputi: kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) *input* u_1 dan kapasitas *motive steam* (MS) *input* u_2 *steam ejector*, serta kapasitas *dry air equivalent* (DAE) *ouput* y_1 *steam ejector*. Berikutnya dari data *input-output steam ejector* digunakan untuk identifikasi pemodelan *steam ejector*. Dimana identifikasi pemodelan *steam ejector* adalah identifikasi pemodelan data input-output steam ejector.

Adapun dalam melakukan identifikasi pemodelan steam ejector tersebut, telah digunakan struktur metode ARMAX. Dimana struktur metode ARMAX yang telah dipilih dalam identifikasi pemodelan steam ejector tersebut diatas, karena dianggap lebih stabil (Oates, Robert, 2009). Dari identifikasi pemodelan steam ejector dengan menggunakan struktur metode ARMAX ini, akan diperoleh hasil yaitu fungsi transfer steam ejector. Dimana fungsi transfer steam ejector ini, didapat dari gabungan struktur model error persamaan dan struktur model ARMAX. Dimana masing-masing struktur model error persamaan, maupun struktur model ARMAX yang telah dinyatakan sebagai berikut:

Struktur model *error* persamaan.(Ljung, Lennart, 1999)

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t) + c_1 e(t-1) + \dots + c_{n_c} e(t-n_c) \quad (2.8)$$

Dimana:

$e(t) = \text{white-noise}$

$$\theta = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_{n_a} \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_{n_b}]$$

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \quad (2.9)$$

$$B(q) = b_1 q^{-1} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b}$$

Sehingga model persamaan error (2.8) dapat ditulis menjadi.

$$G(q, \theta) = \frac{B(q)}{A(q)} \quad H(q, \theta) = \frac{1}{A(q)} \quad (2.10)$$

Dimana:

$$y(t) = G(q, \theta) u(t) + H(q, \theta) e(t)$$

Adapun struktur model ARMAX dinyatakan:

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t) + c_1 e(t-1) + \dots + c_{n_c} e(t-n_c) \quad (2.11)$$

Dimana:

$$C(q) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{n_c} q^{-n_c}$$

Sehingga struktur model ARMAX (2.11) dapat ditulis:

$$A(q) y(t) = B(q) u(t) + C(q) e(t) \quad (2.12)$$

Atau :

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)} u(t) + \frac{C(q)}{A(q)} e(t)$$

Dimana:

$$G(q, \theta) = \frac{B(q)}{A(q)} \quad H(q, \theta) = \frac{C(q)}{A(q)} \quad (2.13)$$

Dimana :

A (q) = koefisien validasi *output* y (t)

B (q) = koefisien validasi *input* u (t)

C (q) = koefisien validasi *error* e (t)

e (t) = *error* yang masih dapat ditoleransi (*white-noise*)

2.4 Optimasi Steam Ejector

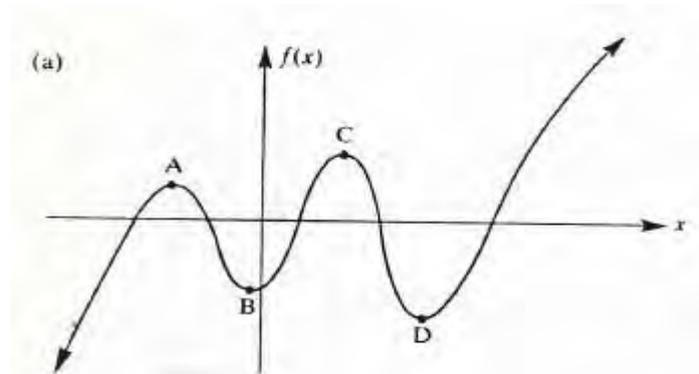
2.4.1 Konsep Dasar Optimasi

Kondisi optimasi untuk titik lokal maksimum adalah merupakan konsep dasar penggunaan kalkulus vektor dan penerapan konsep dasar ini adalah gradien dari sebuah fungsi polinomial linier. Ekspansi deret *Taylor* dari sebuah fungsi digunakan sebagai metode dan teori optimasi.

2.4.2 Ekspansi Deret Taylor

Sebuah fungsi $f(x)$ dengan n variabel mempunyai lokal maksimum di x^* untuk semua x yang sangat kecil dalam sekitar N dari x^* dalam daerah *feasibel* S (daerah kelayaan himpunan semesta S). Pada himpunan penyelesaiannya dapat dikatakan bahwa x^* adalah lokal maksimum yang tepat, hal ini ditunjukkan Gambar 2.4. Sekeliling dari titik x^* secara matematik didefinisikan sebagai kumpulan titik-titik untuk beberapa nilai terkecil $\delta > 0$ yang dinyatakan sebagai berikut:

$$N = \{x / x \in S \text{ dengan } \|x - x^*\| < \delta\} \quad (2.14)$$



Gambar 2.4 Grafik titik lokal maksimum dan minimum

Ekspansi Deret *Taylor* dari suatu fungsi $f(x)$ pada titik x^* dinyatakan sebagai berikut:

$$f(x) = f(x^*) + f'(x^*) d + \frac{1}{2} f''(x^*) d^2 + R \quad (2.15)$$

Dimana:

R = orde tertinggi dari d

$$d = x - x^*$$

$$\Delta f = f(x) - f(x^*)$$

Bentuk persamaan (2.13) dapat dinyatakan dalam bentuk Δf pada titik x^* , dimana $\Delta f = f(x) - f(x^*)$, sehingga persamaan (2.14) dinyatakan menjadi:

$$\Delta f = f'(x^*) d + \frac{1}{2} f''(x^*) d^2 + R \quad (2.16)$$

Dalam deret Taylor fungsi $f(x)$ mempunyai lokal minimum pada titik x^* bila:

$$\Delta f = f(x) - f(x^*) \geq 0 \quad (2.17)$$

Sejak titik stasioner yang dapat dinyatakan $f'(x^*) = 0$, sehingga perubahan persamaan (2.17) dalam bentuk fungsi Δf menjadi:

$$\Delta f = \frac{1}{2} f''(x^*) d^2 + R \quad (2.18)$$

Persamaan (2.15) berlaku untuk semua harga d positif, atau dikatakan $d \neq 0$, maka $f''(x^*) > 0$.

Sehingga dalam Ekspansi Deret *Taylor*, suatu fungsi $f(x)$ pada titik stasioner x^* mempunyai nilai lokal minimum bila:

$$f''(x^*) \geq 0 \quad (2.19)$$

Dengan demikian dalam Ekspansi Deret *Taylor*, suatu fungsi $f(x)$ pada titik stasioner x^* mempunyai nilai lokal maksimum bila:

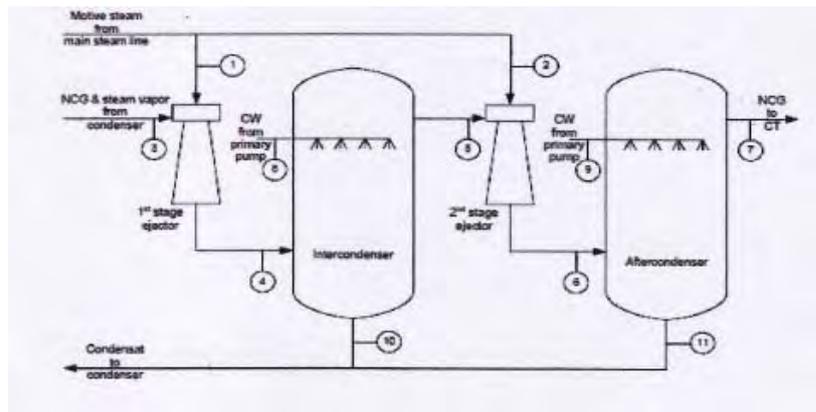
$$f''(x^*) \leq 0 \quad (2.20)$$

Halaman sengaja dikosongkan

Proses ekstaksi NCG yang dimulai dari unit *main condensor* tempat NCG terkumpul, karena selama proses kondensasi *steam* keluaran turbin, komponen NCG tersebut tidak dapat dikondensasikan. NCG dari kondensor dihisap menggunakan sistem ekstaksi NCG tahap pertama, yang meliputi *steam ejector* sistem yang disusun paralel. Selanjutnya aliran dari *ejector* dikondensasikan steamnya, di unit interkondensor. NCG kemudian dihisap kembali oleh sistem ekstraksi NCG tahap kedua, menggunakan perangkat *liquid ring vacuum pump* (LRVP). Aliran LRVP memiliki tekanan di atas tekanan atmosfer, kemudian memasuki perangkat separator. Dari separator NCG dibuang ke udara bebas berupa *dry air equivalent* (DAE) melalui *drug fan* di unit *cooling tower*.

3.2 Steam Ejector

Steam ejector banyak digunakan di PLTP, dalam hal ini untuk mengekstraksi gas yang tidak bisa dikondensasi dari kondensor yang mengkondensasi fluida, hal ini fluida yang dikondensasikan adalah *steam*/uap air. Uap panas bumi mengandung gas-gas yang tidak dapat dikondensasi di dalam kondensor mengakibatkan kenaikan tekanan kondensor, hal ini dapat menyebabkan penurunan nilai kerja PLTP. Sehingga fungsi dari *steam ejector* ini untuk mengeluarkan gas-gas tersebut dari dalam kondensor (DAE yaitu udara kering 70⁰F), sebab bila gas-gas tersebut tidak dikeluarkan, gas-gas yang tidak terkondensasi akan mengakibatkan tekanan kondensor naik dan hal ini akan menyebabkan penurunan nilai kerja turbin. Gambar 3.2 menunjukkan proses *flow diagram steam ejector*.



Gambar 3.2 Proses flow diagram *steam ejector* (NASH, 2007)

Dimana untuk menghisap *noncondensable-gas* (NCG), telah dialirkan sejumlah *motive steam* (MS) menuju *steam ejector*, dimana *noncondensable-gas* (NCG) tidak dimasukkan kedalam turbin untuk mengalir dengan kecepatan sangat tinggi, sehingga gas yang tidak terkondensasi di dalam kondensor akan terhisap kedalam aliran *ejector* berupa *dry air equivalent* (DAE). *Steam ejector* banyak dipakai di PLTP, karena dapat menjaga kevakuman tekanan kondensor *plant*.

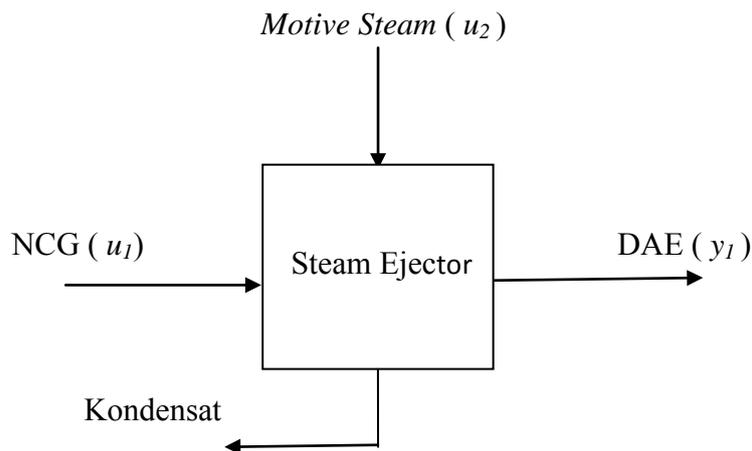
Steam ejector ini mempunyai *proses flow diagram* dimana untuk *flow input* terdiri dari: kapasitas *noncondensable-gas* (NCG), kapasitas *motive steam* (MS), kapasitas *water inlet inter condenser*, dan kapasitas *water inlet after condenser*. Sedangkan kapasitas *flow output*, terdiri dari: kapasitas *condensate inter condenser*, kapasitas *condensate after condenser*, dan kapasitas *dry air equivalent* (DAE). Tabel 3.1 menunjukkan pemilihan *gas removal system* bergantung pada berat *noncondensable-gas* (NCG) dalam uap (f : NCG % Wt). Unit *gas removal system* (GRS) PLTP Kamojang merupakan *hybrid system* antara *steam ejector* dan *liquid ring vacuum pump* (LRVP) , karena f : NCG % Wt pada PLTP Kamojang mempunyai nilai berkisar antara 2% sampai 5%.

Tabel 3.1 Pemilihan Gas Removal System (NASH, 2007)

$f < 2 \%$	<i>Steam Jet Ejector/Liquid Ring Vacuum Pump</i>
$2 \% < f < 5 \%$	<i>Hybrid System</i>
$5 \% < f < 12 \%$	<i>Turbo Compressor</i>
$f > 12 \%$	<i>Back Pressure Turbine</i>

3.3 Identifikasi Steam Ejector Menggunakan ARMAX

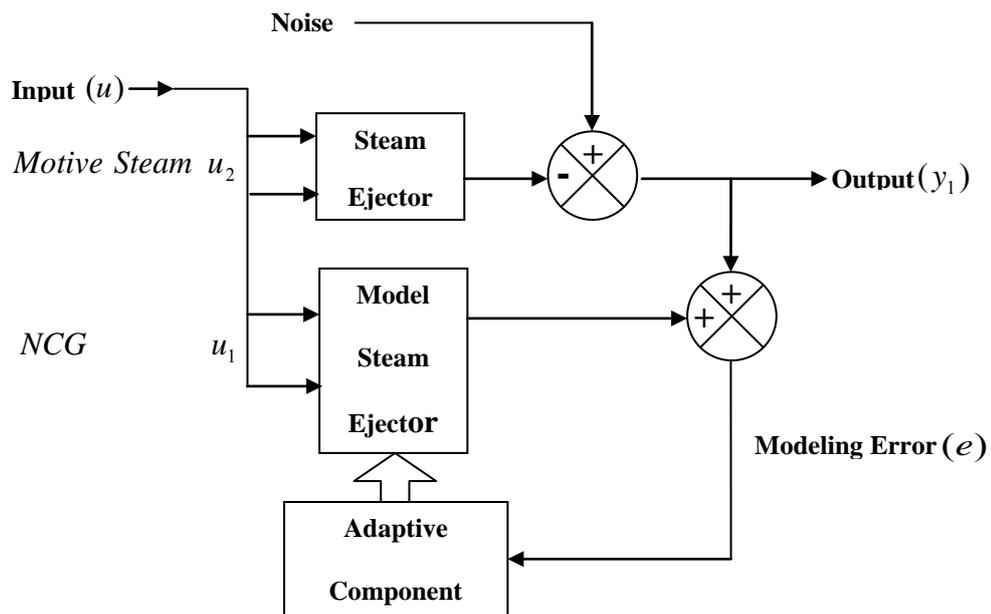
Skema diagram *steam ejector* ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan struktur ARMAX *steam ejector* telah ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.3 Skema diagram *steam ejector*

Steam ejector merupakan unit *gas removal system* (GRS), dimana besaran-besaran fisis *input-output steam ejector* tersebut meliputi: *noncondensable-gas* (NCG) sebagai *input* u_1 *steam ejector*, *motive steam* (MS) sebagai *input* u_2 *steam ejector*, dan *dry air equivalent* (DAE) sebagai *output* y_1 *steam ejector*. Data *input-output steam ejector* didapat dari pengukuran *steam ejector* PLTP selama 73 hari, pada jam 12.00 wib setiap hari pengukuran.

Identifikasi *steam ejector* adalah identifikasi terhadap data *input-output steam ejector* yaitu identifikasi terhadap kapasitas *noncondensable-gas* (NCG), *input u_1 steam ejector*, kapasitas *motive steam* (MS), *input u_2 steam ejector*, dan kapasitas *dry air equivalent* (DAE), *output y_1 steam ejector*. Struktur ARMAX untuk *steam ejector* ditunjukkan Gambar 3.4



Gambar 3.4 Struktur ARMAX untuk *steam ejector*

3.4 Metodologi

Pada tesis ini telah dijelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam identifikasi dan optimasi *steam ejector*. Langkah pertama adalah melakukan identifikasi dan optimasi *steam ejector* yaitu: pengumpulan data dengan melakukan pengukuran data *steam ejector*. Pengukuran data *steam ejector* meliputi: kapasitas *noncondensable-gas* (NCG), *dry air equivalent* (DAE dan kapasitas *dry air equivalent* (DAE).

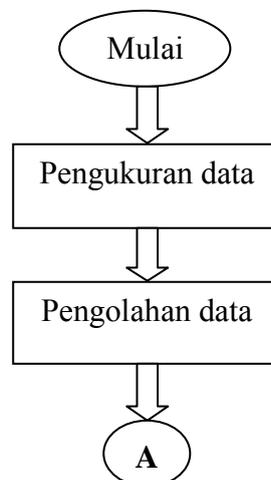
Dimana kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) dan kapasitas *motive steam* (MS) merupakan *input u_1* dan *input u_2 steam ejector*, adapun kapasitas *dry air*

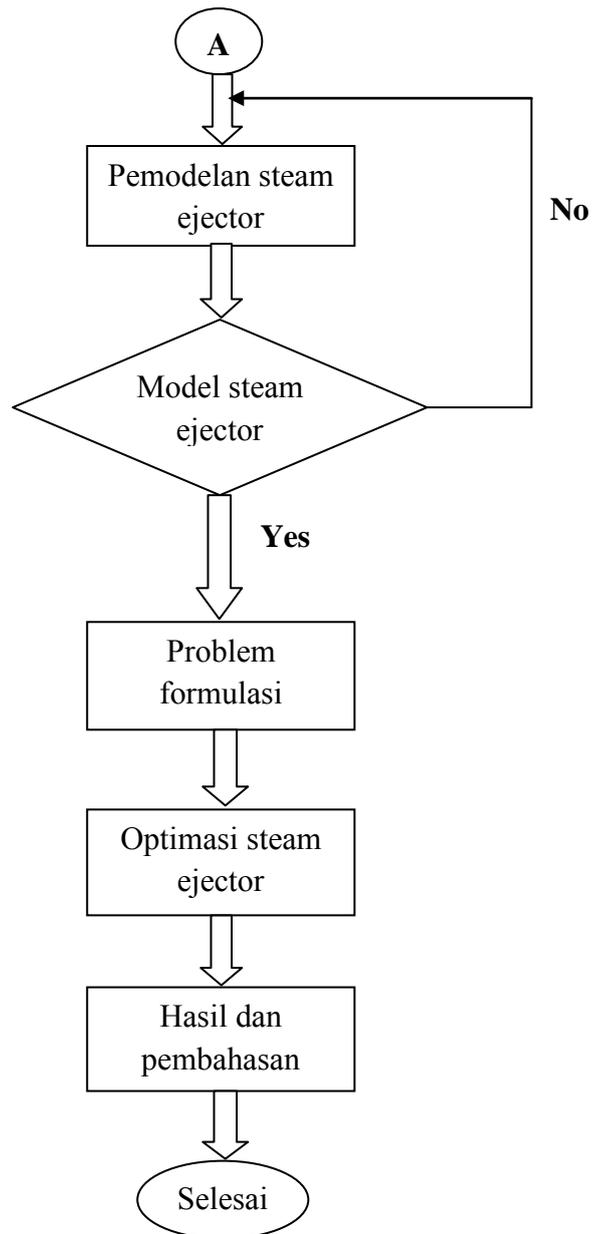
equivalent (DAE) merupakan *output* y_1 *steam ejector*. Langkah kedua adalah melakukan pengolahan data yaitu pengolahan data *input-output steam ejector* yaitu menghitung koefisien korelasi kapasitas *dry air equivalent* (DAE terhadap kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) dan kapasitas *dry air equivalent* (DAE) terhadap kapasitas *motive steam* (MS).

Langkah ketiga adalah melakukan pemodelan *steam ejector*. Pemodelan *steam ejector* ini adalah pemodelan *dry air equivalent* (DAE) *output* y_1 *steam ejector* terhadap kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) dan kapasitas *motive steam* (MS) input u_1 dan u_2 *steam ejector*. Dalam melakukan pemodelan *steam ejector* dipilih struktur metode ARMAX, struktur metode ARMAX dipilih karena dianggap stabil (Oates Robert, 2009). Gambar 3.4 yang ditunjukkan di atas adalah struktur ARMAX untuk *steam ejector*.

Langkah keempat adalah menentukan problem formulasi yang dihasilkan dari pemodelan *steam ejector* tersebut. Dimana problem formulasi yang dihasilkan ini, dengan menerapkan metode yang sesuai dalam optimasi kinerja *steam ejector*. Langkah kelima adalah melakukan analisa optimasi *steam ejector*, pada optimasi *steam ejector* ini dipilih metode ekspansi deret Taylor.

Metode ekspansi deret Taylor dipilih karena mampu menentukan kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dapat dihisap *steam ejector* pada batas kondisi beroperasi, agar didapat kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang mengalir pada *ejector*. Dimana diagram alir tahapan tesis ini telah ditunjukkan pada Gambar 3.5.





Gambar 3.5 Diagram alir tahapan tesis.

3.4.1 Pengukuran Data Steam Ejector

Data-data steam ejector didapat dengan melakukan pengukuran data input-output steam ejector PLTP Kamojang selama *tujuh puluh tiga hari*, dimana setiap hari pengukuran data *steam ejector* tersebut, dilakukan pada pukul 12.00 Wib, dalam setiap hari pengukuran. Data *input-output steam ejector* yang didapat dari hasil pengukuran tersebut meliputi: kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) sebagai

input u_1 *steam ejector*, kapasitas *motive steam* (MS) sebagai *input* u_2 *steam ejector*, dan kapasitas *dry air equivalent* (DAE) sebagai *output* y_1 *steam ejector*.

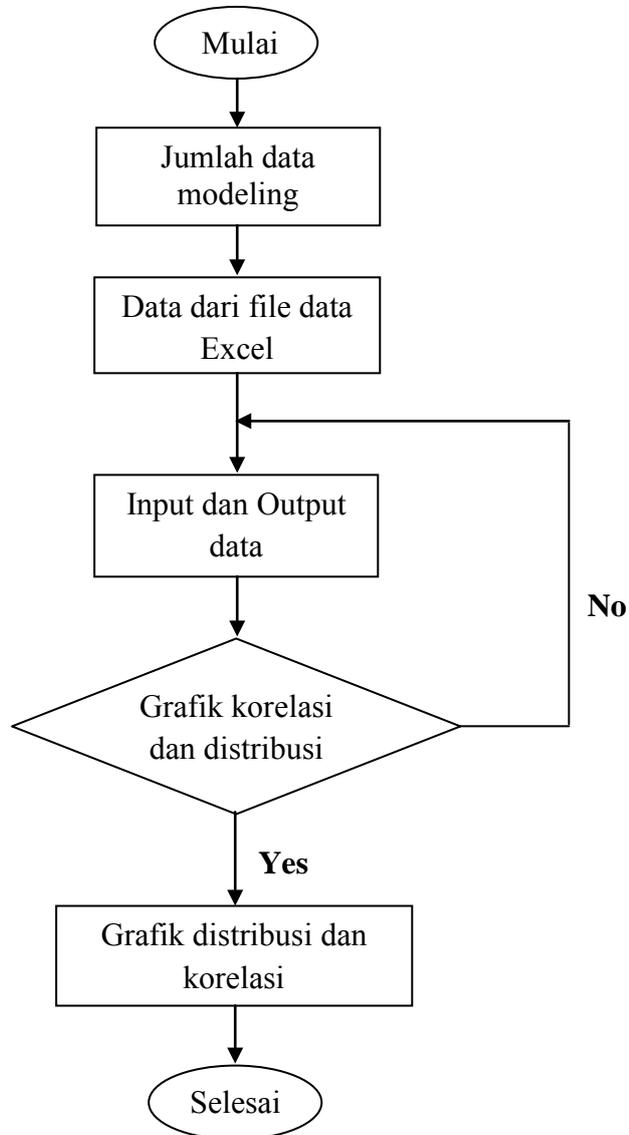
Data *input-output steam ejector* hasil pengukuran tersebut adalah data yang merupakan data-data yang berupa data bukan fungsi waktu, tetapi merupakan data yang berubah terhadap perubahan jumlah waktu hari pengukuran itu sendiri, yaitu selama tujuh puluh tiga hari pengukuran. Data *input-output steam ejector* hasil pengukuran tersebut diatas telah ditunjukkan pada (Lampiran A) . Data *input-output steam ejector* pada lampiran A tersebut adalah data-data yang di dapat dari hasil pengukuran kerja praktek lapangan mahasiswa di PLTP Kamojang (Hakim,Al Jabar. 2010).

3.4.2 Pengolahan Data Steam Ejector

Data *input-output steam ejector* hasil pengukuran pada *steam ejector* yang telah dihasilkan tersebut (Hakim, Al Jabar, 2010), langkah selanjutnya dilakukan penyusunan data dalam tabel data *Excel* (Lampiran A). Langkah selanjutnya data *input-output steam ejector* dalam tabel data *Excel* ini, selanjutnya data ini digunakan untuk melakukan identifikasi *steam ejector*, serta untuk melakukan pula distribusi dan korelasi antara data *input-output steam ejector* tersebut.

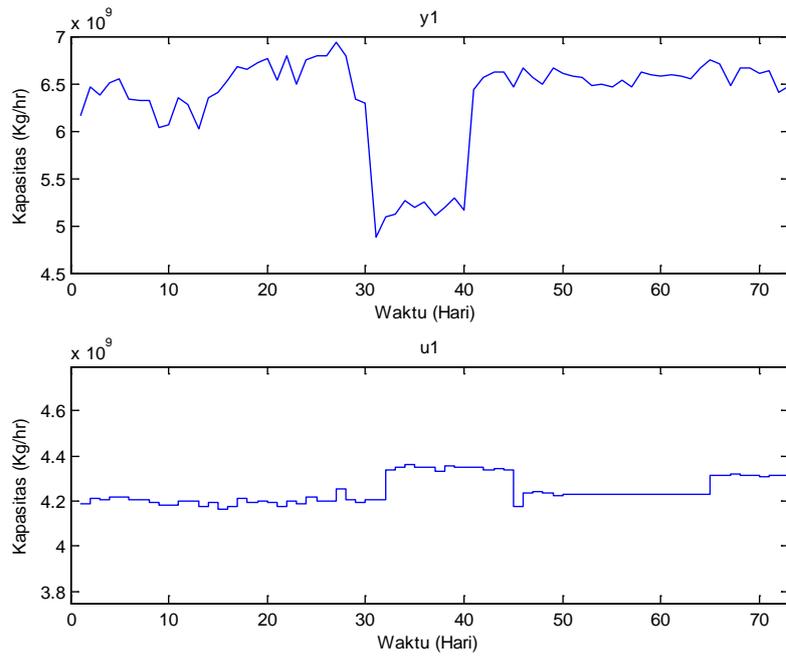
Identifikasi *steam ejector* adalah malakukan identifikasi terhadap data *input-output steam ejector*, serta menentukan distribusi dan korelasi antara data *input-output steam ejector* tersebut. Dalam melakukan identifikasi *steam ejector* tersebut telah digunakan metode yaitu struktur metode ARMAX. Struktur metode ARMAX ini dipilih karena dianggap lebih stabil pada daerah operasi plant yang dipilih dan pula berdasar pada ketersediaan data dan kebutuhan di lapangan untuk mengoptimalkan kinerja maksimum *steam ejector*. Identifikasi dilakukan terhadap data *input-output steam ejector* tersebut yaitu yang meliputi: kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) sebagai *input* u_1 *steam ejector*, kapasitas *motive steam* (MS) sebagai *input* u_2 *steam ejector* dan kapasitas *dry air equavalen* (DAE) sebagai *output* y_1 *steam ejector*. Diagram alir (*flowchart*) *Matlab* pada

identifikasi *steam ejector* ditunjukkan pada Gambar 3.6, hal ini akan didapat hasil distribusi data *input-output steam ejector*.

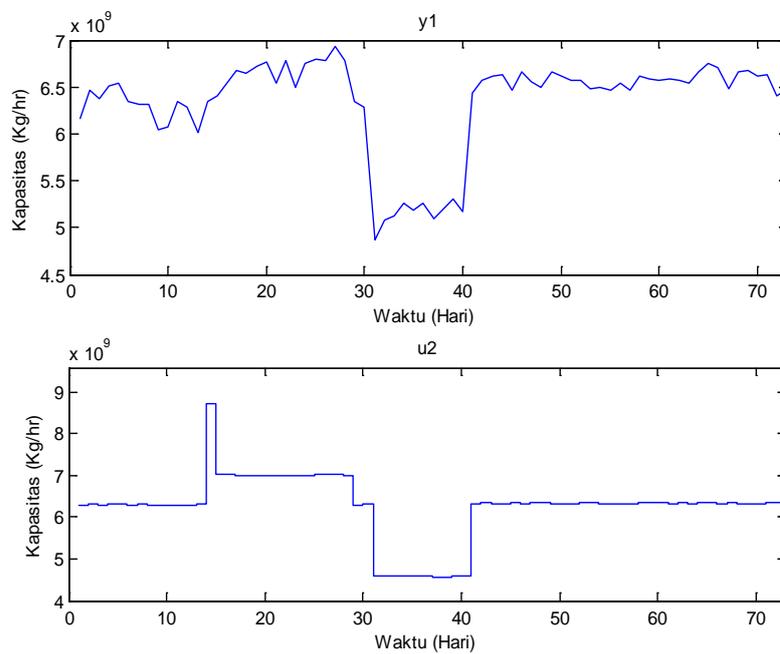


Gambar 3.6 Diagram alir distribusi dan korelasi *steam ejector*.

Hasil identifikasi *steam ejector* terhadap distribusi data *input-output steam ejector* ditunjukkan pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Distribusi DAE terhadap NCG steam ejector



Gambar 3.8 Distribusi DAE terhadap MS steam ejector

3.5 Optimasi Steam Ejector

3.5.1 Optimasi Steam Ejector dengan Metode Ekspansi Deret Taylor

Pemodelan *steam ejector* adalah pemodelan terhadap data *input-output steam ejector*. Dimana pemodelan pada data *input-output steam ejector* digunakan struktur metode ARMAX. Struktur metode ARMAX dipilih karena dianggap lebih stabil. Hasil pemodelan *steam ejector* dengan struktur metode ARMAX, akan didapat sebuah fungsi transfer *steam ejector*.

Dari fungsi transfer *steam ejector* ini akan didapat fungsi objektif *steam ejector* yang dinyatakan dan ditulis y_1 . Dalam menentukan nilai optimal fungsi objektif *steam ejector* y_1 digunakan metode ekspansi deret Taylor, metode deret Taylor dipilih karena mampu menentukan kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dihisap *steam ejector* dalam batas kondisi beroperasi sehingga agar didapat kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector* yang dimungkinkan pada *steam ejector* yang terpasang pada PLTP Kamojang.

Untuk menentukan titik lokal maksimum u^* pada daerah kelayakan (feasibel) dari fungsi objektif *steam ejector* y_1 didapat dari derivatif pertama fungsi objektif y_1 yaitu $\frac{dy_1}{du}$. Titik lokal maksimum yang diperoleh dari fungsi objektif y_1 ini adalah titik lokal maksimum yang dapat menghasilkan nilai fungsi objektif *steam ejector* yang paling maksimum. Dengan kata lain titik lokal maksimum dari fungsi objektif *steam ejector* y_1 adalah nilai kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dihisap *steam ejector* pada batas kondisi beroperasi, sehingga agar dihasilkan *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector* (Arora, Jabir S, 1989). Metode ekspansi deret Taylor adalah konsep dasar dengan penerapan konsep gradien dan Hessian dari bentuk fungsi polinomial .

Metode ekspansi deret Taylor sekitar titik lokal maksimum x^* pada fungsi polinomial dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(x) = f(x^*) + \frac{df(x^*)}{dx} (x - x^*) + \frac{1}{2} \frac{d^2f(x^*)}{dx^2} (x - x^*)^2 + R \quad (3.1)$$

Dimana :

$f(x)$ = sebuah fungsi polinomial

R = orde tinggi dalam bentuk d

$x - x^* = d$ = perubahan terkecil dalam titik x^*

Persamaan ekspansi deret Taylor (3.1) dapat pula dinyatakan berikut ini :

$$f(x^* + d) = f(x^*) + \frac{df(x^*)}{dx} d + \frac{1}{2} \frac{d^2f(x^*)}{dx^2} d^2 + R \quad (3.2)$$

Atau seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.15).

Maka perubahan dalam fungsi $f(x)$ di titik x^* seperti yang ditunjukkan pada subbab 2.4.2.R

3.5.2 Lokal Optimal Steam Ejector

Ekspansi deret Taylor dari suatu fungsi $f(x)$ pada titik lokal maksimum x^* dapat dinyatakan dalam persamaan seperti yang telah dinyatakan pada persamaan (2.15) ditunjukkan sebagai berikut:

$$f(x) = f(x^*) + f'(x^*) d + \frac{1}{2} f''(x^*) d^2 + R$$

Dimana:

x = input fungsi objektif *steam ejector* $f(x)$

x^* = titik lokal maksimum (input maksimum) fungsi objektif

steam ejector $f(x)$

$f(x)$ = fungsi objektif *steam ejector*

$f(x^*)$ = nilai fungsi objektif *steam ejector* $f(x)$ pada titik lokal maksimum x^* .

$f'(x^*)$ = nilai derivatif pertama fungsi objektif *steam ejector* $f(x)$

pada titik lokal maksimum x^* .

$f''(x^*)$ = nilai derivatif kedua fungsi objektif *steam ejector* $f(x)$

pada titik lokal maksimum x^* .

$d = x - x^*$

R = orde tertinggi dari d

Dalam ekspansi deret Taylor fungsi $f(x)$ mempunyai lokal minimum pada titik x^* bila:

$$f = f(x) - f(x^*) \geq 0 \quad (3.3)$$

Sehingga dalam ekspansi deret Taylor, dari fungsi objektif *steam ejector* $f(x)$ pada titik lokal maksimum x^* mempunyai nilai lokal minimum (nilai $f(x^*)$ minimum) bila:

$$f''(x^*) \geq 0 \quad (3.4)$$

Dengan demikian pula ekspansi deret Taylor, dari fungsi objektif *steam ejector* $f(x)$ pada titik lokal maksimum x^* mempunyai nilai lokal maksimum (nilai $f(x^*)$ maksimum) bila:

$$f''(x^*) \leq 0 \tag{3.5}$$

BAB IV

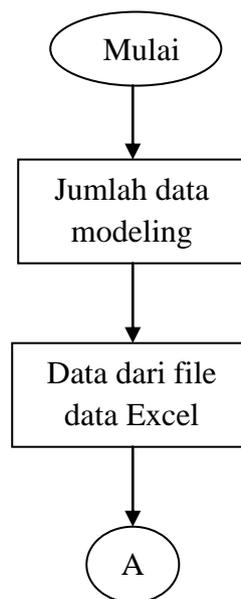
ANALISA IDENTIFIKASI DAN OPTIMASI

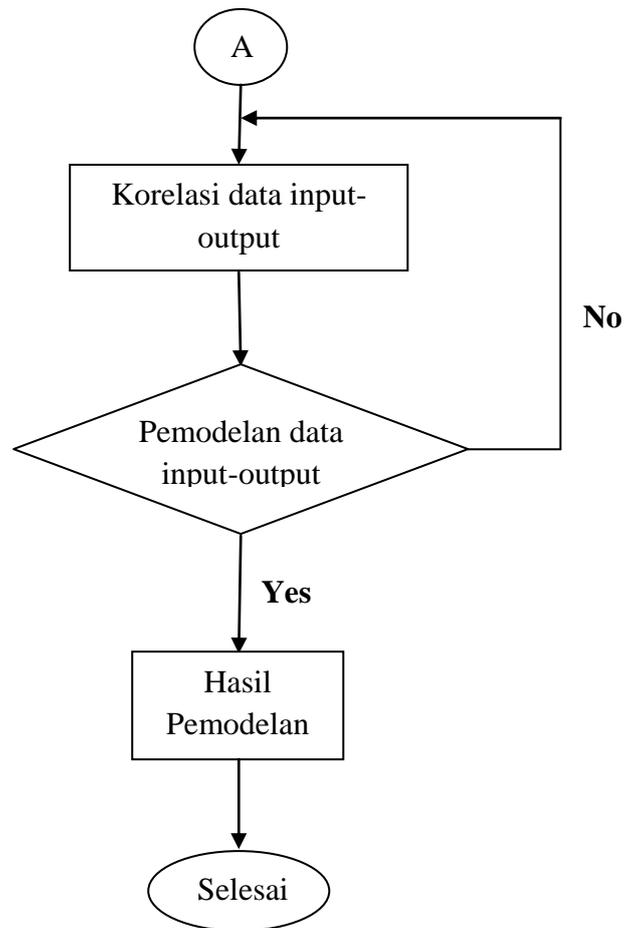
4.1 Analisa Identifikasi Steam Ejector

4.1.1 Korelasi Data Steam Ejector

Data *input-output steam ejector* hasil pengukuran *steam ejector* meliputi: kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) *input* u_1 dan kapasitas *motive steam* (MS) *input* u_2 *steam ejector*, serta kapasitas *dry air equivalent* (DAE) *output* y_1 *steam ejector*. Data *input-output steam ejector* selanjutnya digunakan untuk menentukan koefisien korelasi terhadap data *input-output steam ejector*.

Dalam menentukan koefisien korelasi korelasi antara kapasitas *dry air equivalent* (DAE) *output* y_1 *steam ejector* terhadap kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) *input* u_1 *steam ejector*, maupun korelasi antara kapasitas *dry air equivalent* (DAE) *output* y_1 *steam ejector* terhadap kapasitas *motive steam* (MS) *input* u_2 *steam ejector*. Dimana diagram alir listing program identifikasi *input-output steam ejector*, telah ditunjukkan pada Gambar 4.1.

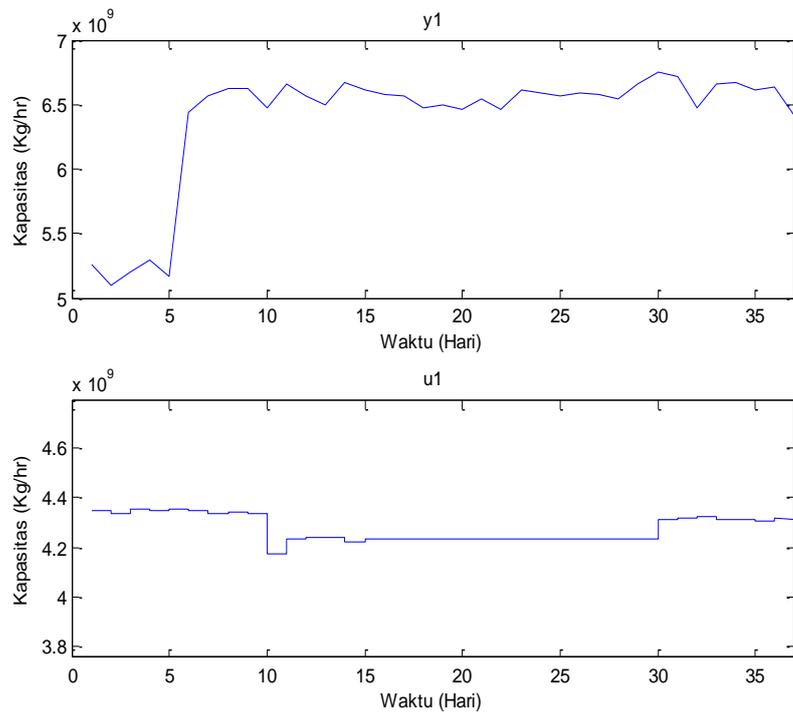




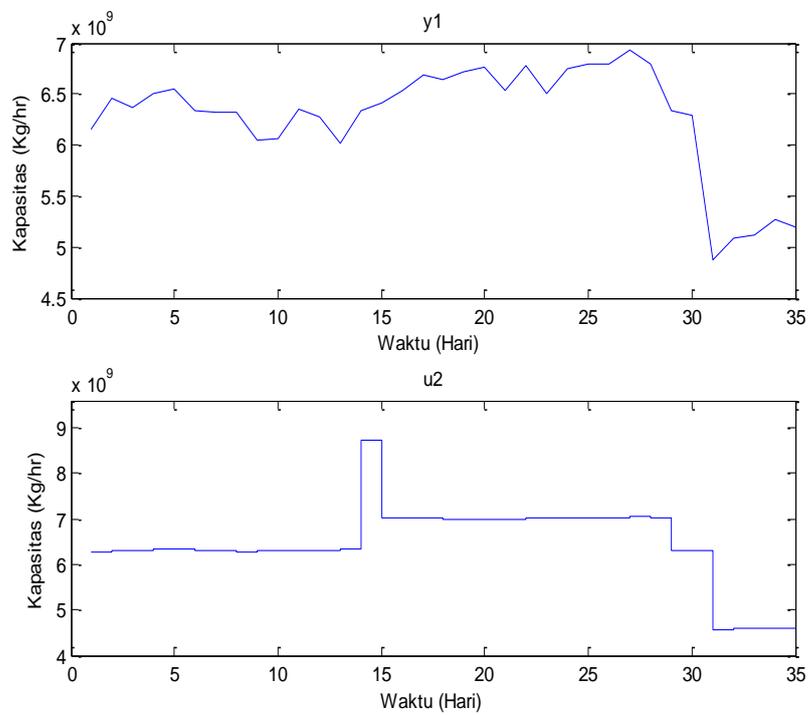
Gambar 4.1 Diagram alir listing program identifikasi *steam ejector*

Korelasi *steam ejector* adalah korelasi antara data *input-output steam ejector*. Identifikasi pada *steam ejector* dipakai struktur metode ARMAX untuk *steam ejector*. Struktur metode ARMAX untuk *steam ejector* ini dipilih, karena stabil.

Hasil korelasi *steam ejector* dari kapasitas *dry air equivalent (DAE)* terhadap kapasitas *noncondensable-gas (NCG)*, didapat nilai koefisien korelasi sebesar 1,0 (korelasi tinggi). Adapun korelasi kapasitas *dry air equivalent (DAE)* terhadap kapasitas *motive steam (MS)* didapat nilai koefisien korelasi sebesar -0,4 (tanpa korelasi). Hasil korelasi tersebut diatas telah ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Korelasi DAE dengan NCG *steam ejector*



Gambar 4.3 Korelasi DAE dengan MS *steam ejector*

Hasil korelasi *input-output steam ejector* tersebut diatas, menunjukkan bahwa kapasitas *dry air equivalent* (DAE) sebagai *ouput y₁ steam ejector* hanya berkorelasi terhadap kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) sebagai *input u₁ steam ejector* saja, tetapi tidak berkorelasi terhadap kapasitas *motive steam* (MS) sebagai *input u₂*.

Dalam masalah ini sebelumnya sudah dijelaskan bahwa nilai korelasi yang didapat antara kapasitas *dry air equivalent* (DAE) sebagai *output y₁ steam ejector* terhadap kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) sebagai *input u₁ steam ejector* adalah 1,0 (korelasi tinggi), sedangkan nilai korelasi antara kapasitas *dry air equivalent* (DAE) sebagai *output y₁ steam ejector* terhadap kapasitas *motive steam* (MS) sebagai *input u₂ steam ejector* adalah -0,4 (tanpa korelasi).

4.1.2 Identifikasi Steam Ejector dengan ARMAX

Identifikasi *steam ejector* adalah identifikasi terhadap *data input-output steam ejector*. Identifikasi *data input-output steam ejector* ini digunakan struktur metode ARMAX untuk *steam ejector*. Struktur metode ARMAX untuk *steam ejector*, ini dipilih karena metode ARMAX ini lebih stabil (Oates, Robert, 2009) Identifikasi pada data *input-output steam ejector* tersebut, telah digunakan Matlab. Dimana diagram alur listing program Matlab untuk *steam ejector*, sudah ditunjukkan pada Gambar 4.1 tersebut diatas.

Sedangkan listing program identifikasi *steam ejector* ditunjukkan pada (Lampiran B). Pada listing program identifikasi *steam ejector* adalah identifikasi pada data *input-output steam ejector* dengan menggunakan program Matlab. Dimana identifikasi untuk *steam ejector* adalah identifikasi terhadap data *input-output steam ejector* yang meliputi: kapasitas *nonconsable-gas* (NCG) *input u₁*, kapasitas *motive steam* (MS) *input u₂ steam ejector* dan kapasitas *dry air equivalent* (DAE) *output y₁ steam ejector*. Setelah *listing program* identifikasi ini dijalankan (*runing*), maka akan didapat hasil yaitu berupa model fungsi transfer

steam ejector. Model fungsi transfer *steam ejector* yang diperoleh ini adalah fungsi transfer yang menunjukkan korelasi kapasitas *dry air equivalent* (DAE) *output* y_1 *steam ejector* terhadap kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) *input* u_1 *steam ejector*. Hasil fungsi transfer *steam ejector* tersebut ditunjukkan pada persamaan (4.5). Sedangkan hasil parameter-parameter ARMAX, ditunjukkan pada persamaan-persamaan (4.1), (4.2), (4.3), dan (4.4) sebagai berikut:

Model IDPOL *time discrete* dinyatakan: $A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)$

$$A(q) = 1 - 1,177q^{-1} - 0,4459q^{-2} + 0,3472q^{-3} - 0,211q^{-4} + 1,227q^{-5} \quad (4.1)$$

$$B_1(q) = 8,312 - 7,338q^{-1} \quad (4.2)$$

$$B_2(q) = -0,1853q^{-4} - 0,07231q^{-5} + 0,03674q^{-6} + 0,1146q^{-7} + 0,2063q^{-8} \quad (4.3)$$

$$C(q) = 1 - 0,004046q^{-1} - 0,996q^{-2} \quad (4.4)$$

4.1.3 Model Fungsi Transfer Steam Ejector

Hasil pemrograman identifikasi *steam ejector*, didapat hasil berupa model fungsi transfer *steam ejector* yang menunjukkan korelasi kapasitas *dry air equivalent* (DAE) *output* y_1 terhadap kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) *input* u_1 *steam ejector*. Hal ini memberikan arti bahwa kapasitas *dry air equivalent* (DAE) *output* y_1 *steam ejector* hanya berkorelasi terhadap kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) *input* u_1 *steam ejector*. Atau dapat dikatakan bahwa kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) yang dihisap pada *steam ejector* dapat menentukan kapasitas *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector*. Fungsi transfer *steam ejector* yang diperoleh tersebut dinyatakan sebagai berikut:

Fungsi transfer *steam ejector output* y_1 terhadap *input* u_1 didapat dan dinyatakan berikut:

$$\frac{8,312s^6 + 4,188s^5 + 92,58s^4 + 47,13s^3 + 176,8s^2 + 43,4s + 5,585}{s^6 - 0,2117s^5 + 12,85s^4 - 3,388s^3 + 29,84s^2 - 13,79s + 4,244} \quad (4.5)$$

Fungsi transfer *steam ejector* persamaan (4.5) dapat dinyatakan menjadi bentuk fungsi transfer yang dinyatakan pada persamaan (4.6) berikut.

$$\frac{y_1(s)}{u_1(s)} = \frac{8,312s^6 + 4,188s^5 + 92,58s^4 + 47,13s^3 + 176,8s^2 + 43,4s + 5,6}{s^6 - 0,2s^5 + 12,9s^4 - 3,4s^3 + 29,8s^2 - 13,8s + 4,2} \quad (4.6)$$

4.1.4 Model Fungsi Objektif Steam Ejector

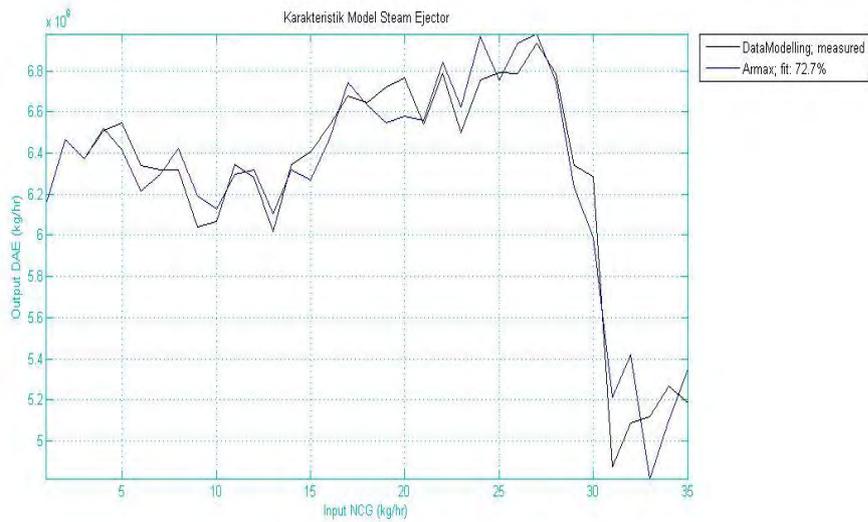
Dari bentuk fungsi transfer *steam ejector* yang dihasilkan, dan yang dinyatakan pada persamaan (4.5), selanjutnya dengan memberikan batasan bahwa kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) *input* u_1 adalah sinyal step. Batasan yang telah diberikan ini didasarkan pada, bahwa kapasitas *noncondensable-gas* (NCG), *input* u_1 bukan fungsi waktu.

Hal ini sebelumnya sudah dijelaskan, bahwa data pengukuran kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) *steam ejector* adalah data yang bukan merupakan data fungsi waktu, tetapi hanya merupakan data yang perubahannya hanya berubah terhadap pengukuran yang dilakukan setiap harinya. Pengukuran kapasitas *noncondensable-gas* (NCG) dilakukan selama tujuh puluh tiga hari pada pukul 12.00 wib setiap hari pengukuran.

Dengan sinyal input step yang diberikan pada fungsi transfer *steam ejector*, maka akan didapat fungsi objektif *steam ejector* $y_1(s)$ yang dapat dinyatakan pada persamaan (4.7) berikut:

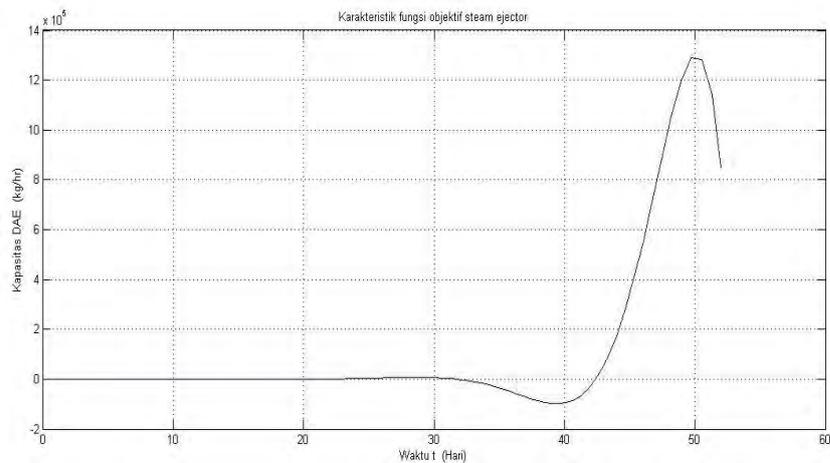
$$y_1(s) = \frac{8,312s^6 + 4,188s^5 + 92,58s^4 + 47,13s^3 + 176,8s^2 + 43,4s + 5,6}{s^7 - 0,2s^6 + 12,9s^5 - 3,4s^4 + 29,8s^3 - 13,8s^2 + 4,2s} \quad (4.7)$$

Model fungsi objektif *steam ejector* yang telah dinyatakan pada persamaan (4.7) tersebut menghasilkan model karakteristik fungsi objektif *steam ejector* yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dimana pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa kapasitas *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector* sebesar 6276,0 kg/hr.

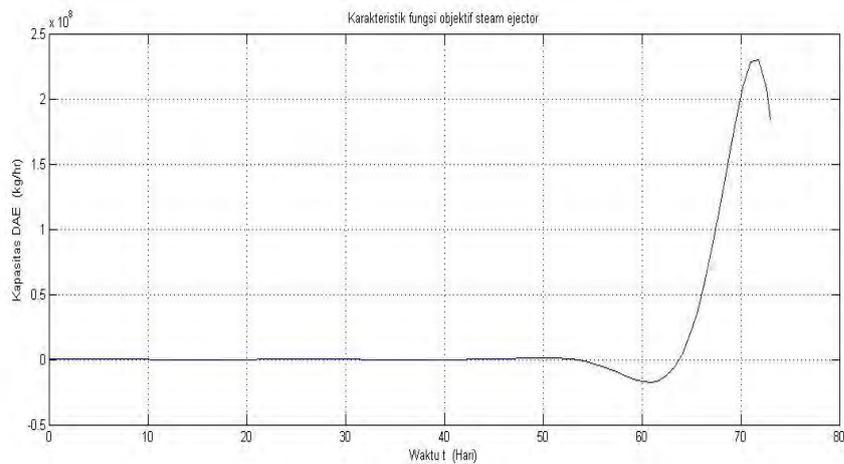


Gambar 4.4 Model karakteristik *steam ejector*

Dalam hal ini telah ditunjukkan bahwa karakteristik fungsi objektif *steam ejector*, yang terjadi pada saat waktu ($t=\text{hari}$) untuk $t=\text{hari}=52$ dan $t=\text{hari}=73$ menghasilkan DAE sebesar 6276,0 kg/hr. Hal ini masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Karakteristik fungsi objektif *steam ejector* ($t=\text{hari}=52$)



Gambar 4.6 Karakteristik fungsi objektif *steam ejector* (t=hari=73)

Dimana dari masing-masing model karakteristik Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 tersebut diatas menunjukkan bahwa kondisi minimum yang terjadi pada saat t=hari=52 dan kondisi maksimum pada saat t=hari=73 fungsi objektif *steam ejector*.

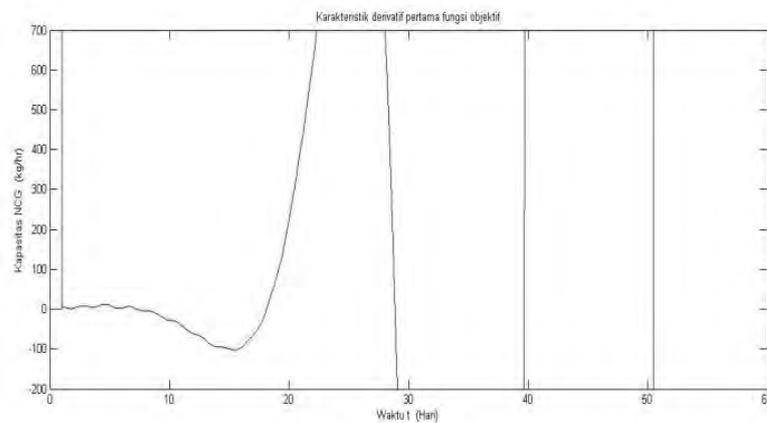
4.2 Analisa Optimasi Steam Ejector

4.2.1 Kapasitas Optimal NCG

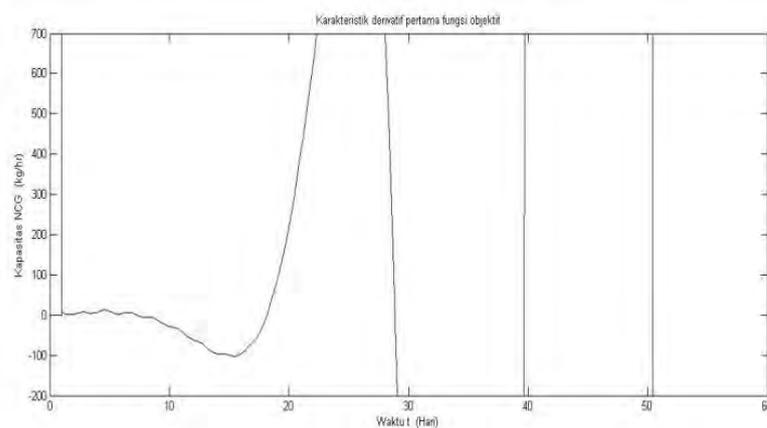
Analisis optimal *steam ejector* adalah menentukan kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dapat dihisap *steam ejector*, agar didapat kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector*.

Nilai kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) dan kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) adalah himpunan penyelesaian fungsi objektif *steam ejector*. Dalam menentukan himpunan penyelesaian fungsi objektif *steam ejector* digunakan metode ekspansi deret Taylor. Metode ekspansi deret Taylor dipilih karena mampu menentukan nilai kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dapat dihisap *steam ejector*, agar didapat hasil kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector*.

Derivatif pertama fungsi objektif *steam ejector* $y_1(s)$ untuk menentukan kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dapat dihisap *steam ejector*. Himpunan titik balik maksimum dari derivatif pertama fungsi objektif *steam ejector* $y_1(s)$ ini telah didapat nilai kpsitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dapat dihisap *steam ejector* sebesar 4189,8 kg/hr yang terjadi pada $t=\text{hari}=73$. Dimana model karakteristik derivatif pertama fungsi objektif *steam ejector* $y_1(s)$ pada $t=\text{hari}=52$ dan $t=\text{hari}=73$ ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Karakteristik derivatif pertama fungsi objektif *steam ejector* ($t=\text{hari}=52$)

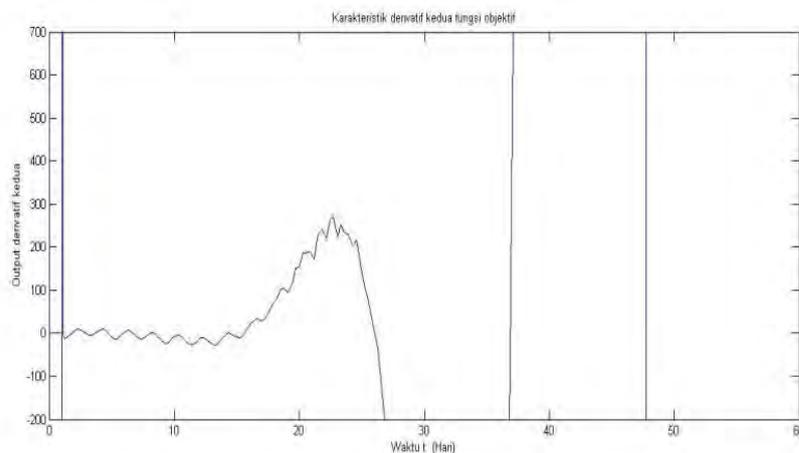


Gambar 4.8 Karakteristik derivatif pertama fungsi objektif *steam ejector* ($t=\text{hari}=73$)

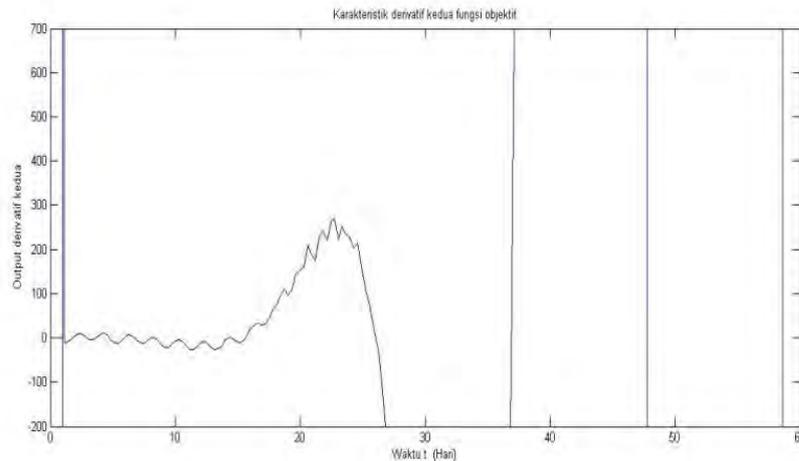
Adapun masing-masing model karakteristik derivatif pertama fungsi objektif *steam ejector* tersebut diatas menunjukkan bahwa titik balik maksimum terbesar adalah 4189,8 kg/hr. Titik balik maksimum 4189,8 kg/hr ini, mempunyai arti bahwa kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dapat dihisap *steam ejector* sebesar 4189,8 kg/hr.

4.2.2 Kapasitas Optimal DAE

Optimasi *steam ejector* selanjutnya adalah menentukan kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang mengalir pada *ejector*. Untuk menentukan kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector* tersebut, yaitu menentukan derivatif kedua fungsi objektif *steam ejector* $y_1(s)$. Model karakteristik derivatif kedua fungsi objektif *steam ejector* $y_1(s)$ pada $t=\text{hari}=52$ dan $t=\text{hari}=73$ ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Karakteristik derivatif kedua fungsi objektif *steam ejector* ($t=\text{hari}=52$)



Gambar 4.10 Karakteristik derivatif kedua fungsi objektif
steam ejector (t=hari=73)

Model karakteristik derivatif kedua fungsi objektif *steam ejector* $y_1(s)$ pada saat t=hari=52 dan pada saat t=hari=73 tersebut diatas menunjukkan bahwa hasil nilai derivatif kedua fungsi objektif *steam ejector* $y_1(s)$ yang mempunyai nilai kecil dan negatif yaitu terjadi pada saat waktu t=hari=73. Hal ini digunakan untuk menentukan kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector*. Dimana kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector* sebesar 6276,0 kg/hr yang terjadi pada saat t=hari=73.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pemodelan struktur metode ARMAX dipilih karena mampu menentukan model *steam ejector*, problem formulasi, dan teknik optimasi agar diperoleh kondisi optimum kinerja *steam ejector* PLTP Kamojang.

Optimasi dengan metode ekspansi deret Taylor dipilih karena mampu, menentukan nilai optimum *noncondensable-gas* (NCG) yang dapat dihisap *steam ejector* dalam batas kondisi beroperasi, agar didapat nilai kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector*.

Kapasitas maksimum *noncondensable-gas* (NCG) sebesar 4189,8 kg/hr yang dihisap *steam ejector* dan agar didapat kapasitas maksimum *dry air equivalent* (DAE) sebesar 6276,0 kg/hr yang dihasilkan pada aliran *ejector*, mempunyai arti bahwa kevakuman tekanan kondensor dapat dijaga pada besaran 4189,8 kg/hr *noncondensable-gas* (NCG) yang dihisap *steam ejector* dan besaran 6276,0 kg/hr kapasitas *dry air equivalent* (DAE) yang dihasilkan pada aliran *ejector*.

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Ljung, Lennart. "System Identification". Prentice –Hall , Inc , 1999
- Arora, S Jabir. "Introduction to Optimum Design". McGraw-Hill Book Company . 1989.
- Moran, J Michael. "Fundamentals of Engineering Thermodynamics" John Wiley & Sons, Inc. 2004
- Oates, Robert. "ARMAX for system Identification". 2009.
- Hakim, Al Jabar. "Etika Rekayasa & Kerja Praktek". Teknik Fisika ITS,2010
- Installation, Operation & Maintenace Manual Nash Model 3/018-2-OBP
Geothermal Gas Removal System Kamojang Geothermal Power Plant,
2007.
- Saptadji, Miryani Nenny. Sekilas Tentang Panas Bumi. Bandung: ITB, 2008.
- DiPippo, Ronald, "Geothermal *power plants*: principles, appications and case studies," Elsevier Advanced Technology. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 IGB. UK. (2006) 85–161
- YILDIRIM ÖZCAN, Nurdan, "Modeling, Simulation And Optimization Of Flashed-Steam Geothermal Power Plants From The Point Of View Of Noncondensable Gas Removal Systems" M.Sc. Thesis, Department of Mechanical and Industrial Engineering University of Iceland, 2010

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran A

Data Pengukuran Steam Ejector

No	Time	Kapasitas Motive Steam kg/hr	Kapasitas NCG kg/hr	Kapasitas DAE kg/hr	Tekanan Kondensor N/m ²
1.	01/01/2010	418908,6	6283,7	6160,9	11132,8
	12.00				
2.	02/01/2010	421405,1	6312,2	6465,5	11755,4
	12.00				
3.	03/01/2010	420312,2	6293,6	6373,1	11480,7
	12.00				
4.	04/01/2010	421556,4	6320,8	6507,2	11810,3
	12.00				
5.	05/01/2010	421528,7	6319,6	6546,9	11700,4
	12.00				
6.	06/01/2010	420428,1	6288,6	6338,5	11334,2
	12.00				
7.	07/01/2010	420386,1	6310,9	6318,2	11370,8
	12.00				
8.	08/01/2010	419217,9	6273,7	6316,2	11334,2
	12.00				
9.	09/01/2010	418252,2	6288,6	6041,5	10913,1
	12.00				
10.	10/01/2010	418414,1	6303,5	6069,2	10821,5
	12.00				
11.	11/01/2010	420131,4	6301,1	6345,1	11407,5
	12.00				
12.	12/01/2010	419716,9	6303,5	6277,9	11242,7
	12.00				

No	Time	Kapasitas MotiveSteam kg/hr	Kapasitas NCG kg/hr	Kapasitas DAE kg/hr	Tekanan Kondensor N/m ²
13.	13/01/2010	417784,2	6338,1	6016,2	10766,6
	12.00				
14.	14/01/2010	419158,6	8719,6	6344,3	10675,0
	12.00				
15.	15/01/2010	416462,9	7026,7	6406,4	10418,7
	12.00				
16.	16/01/2010	417765,9	7017,8	6534,2	10583,5
	12.00				
17.	17/01/2010	421312,5	7008,9	6680,0	10894,8
	12.00				
18.	18/01/2010	419649,6	6984,4	6644,3	10876,5
	12.00				
19.	19/01/2010	419709,5	6994,4	6723,2	11096,2
	12.00				
20.	20/01/2010	419096,8	6995,5	6766,7	11114,5
	12.00				
21.	21/01/2010	417584,9	6992,2	6541,0	10565,2
	12.20				
22.	22/01/2010	420066,4	7014,5	6785,8	11077,9
	12.00				
23.	23/01/2010	418743,1	7007,8	6499,4	10784,9
	12.00				
24.	24/01/2010	421821,1	7015,6	6753,4	11041,3
	12.00				
25.	25/01/2010	420066,7	7018,9	6793,3	11077,9
	12.00				
26.	26/01/2010	419968,9	7025,6	6787,8	11041,3
	12.00				
27.	27/01/2010	425178,1	7044,5	6931,3	11096,2
	12.00				

No	Time	Kapasitas Motive Steam kg/hr	Kapasitas NCG kg/hr	Kapasitas DAE kg/hr	Tekanan Kondensor N/m ²
28.	28/01/2010	420485,6	7006,7	6787,6	11077,9
	12.00				
29.	29/01/2010	419399,5	6294,8	6341,3	11334,2
	12.00				
30.	30/01/2010	420706,1	6308,5	6286,3	11440,9
	12.00				
31.	31/01/2010	420338,1	4579,2	4875,2	11883,5
	12.00				
32.	01/02/2010	433820,6	4589,4	5086,8	12048,3
	12.00				
33.	02/02/2010	434939,2	4585,9	5123,1	12158,2
	12.00				
34.	03/02/2010	435912,1	4585,9	5266,6	12432,9
	12.00				
35.	04/02/2010	434736,7	4584,3	5185,4	12286,4
	12.00				
36.	05/02/2010	434643,8	4585,9	5256,6	12432,9
	12.00				
37.	06/02/2010	433335,4	4570,6	5101,2	12158,2
	12.00				
38.	07/02/2010	435441,1	4560,4	5197,5	12341,3
	12.00				
39.	08/02/2010	434815,4	4580,9	5298,2	12561,0
	12.00				
40.	09/02/2010	435133,1	4592,8	5167,0	12615,9
	12.00				
41.	10/02/2010	434667,9	6329,5	6441,9	11682,1
	12.00				
42.	11/02/2010	433688,9	6356,6	6569,7	11480,7
	12.00				

No	Time	Kapasitas Motive Steam kg/hr	Kapasitas NCG kg/hr	Kapasitas DAE kg/hr	Tekanan Kondensor N/m ²
43.	12/02/2010	434217,7	6325,8	6623,4	11645,5
	12.00				
44.	13/02/2010	433843,2	6317,1	6625,3	11846,9
	12.12				
45.	03/03/2010	417366,3	6345,5	6469,8	11645,5
	12.00				
46.	04/03/2010	423393,7	6338,1	6663,4	12084,9
	12.00				
47.	05/03/2010	423948,7	6346,8	6560,8	11938,5
	12.00				
48.	06/03/2010	423713,7	6341,8	6493,1	11865,2
	12.00				
49.	07/03/2010	422152,2	6313,4	6668,2	12030,0
	12.00				
50.	08/03/2010	423197,0	6335,7	6609,1	11773,7
	12.00				
51.	09/03/2010	423195,7	6336,9	6576,4	11920,2
	12.00				
52.	10/03/2010	423186,9	6345,5	6566,4	11645,5
	12.00				
53.	11/03/2010	423186,9	6345,5	6473,4	11590,6
	12.00				
54.	12/03/2010	423204,6	6328,3	6498,5	11535,6
	12.00				
55.	13/03/2010	423199,5	6333,2	6457,9	11718,8
	12.00				
56.	14/03/2010	423210,9	6322,1	6539,1	11663,8
	12.00				
57.	15/03/2010	423213,5	6319,6	6462,9	11517,3
	12.00				
58.	16/03/2010	423179,2	6352,9	6614,9	11828,6
	12.00				

No	Time	Kapasitas Motive Steam kg/hr	Kapasitas NCG kg/hr	Kapasitas DAE kg/hr	Tekanan Kondensor N/m ²
59.	17/03/2010	423189,4	6343,1	6588,7	11993,4
	12.00				
60.	18/03/2010	423180,5	6351,7	6572,2	11846,9
	12.00				
61.	19/03/2010	423208,4	6324,6	6587,5	11846,9
	12.00				
62.	20/03/2010	423191,9	6340,6	6574,6	11810,3
	12.00				
63.	21/03/2010	423208,4	6324,6	6545,4	11682,1
	12.00				
64.	22/03/2010	423191,9	6340,6	6658,9	12011,7
	12.00				
65.	23/03/2010	431456,3	6340,6	6746,6	12139,9
	12.00				
66.	24/03/2010	431557,6	6330,7	6713,5	11755,4
	12.00				
67.	25/03/2010	432217,4	6346,8	6479,5	11370,9
	12.00				
68.	26/03/2010	431191,5	6330,7	6662,4	11737,1
	12.00				
69.	27/03/2010	431468,6	6333,2	6670,8	12011,7
	12.00				
70.	28/03/2010	430887,3	6333,2	6611,8	11425,8
	12.00				
71.	29/03/2010	431576,1	6340,6	6637,8	11517,3
	12.00				
72.	30/03/2010	431406,5	6341,8	6401,2	11132,8
	12.00				
73.	31/03/2010	430988,1	6324,6	6474,3	11169,4
	12.00				

Lampiran B

Listing Program Matlab Identifikasi Steam Ejector

1. Listing Program Tesis



ListingProgramTesis.m

```
clc close all
clear
clc

%% Jumlah Data Modeling
xx = 35;

%% Mengambil Data dari File Data.xlsx
DataPengukuran = xlsread('Data.xlsx', 'Sheet1');

%% Input dan Output
Input = DataPengukuran(:, 1:2);
Output = DataPengukuran(:, 3);

%% Plotting Input Output dalam grafik
figure (1)
idplot ([Output Input])

%% Dtrend Data
InputNew = (DataPengukuran(:, 1:2));
OutputNew = (DataPengukuran(:, 3));
n = 1:length(OutputNew);

%% Plotting Input Output dalam grafik hasil praprocessing
figure (2)
idplot ([OutputNew InputNew])

%% Data untuk Pemodelan dan Estimasi
DataModelling = [OutputNew(1:xx, 1) InputNew(1:xx, 1:2)];
DataEstimasi = [OutputNew(xx+1:end, 1) InputNew(xx+1:end, 1:2)];

%% Plotting data untuk Modelling
figure (3)
idplot (DataModelling)

%% Plotting data untuk Estimasi
figure (4)
idplot (DataEstimasi)

koef = [5 2 5 2 0 4];

Armax = armax(DataModelling, koef)
figure (5)
compare(DataModelling, Armax);
```

```

grid on

figure(6)
compare(DataEstimasi,Armax);
grid on

sysd = tf(Armax)
syscl = d2c(sysd(1))

figure (8)
resid(Armax, DataModelling)

figure(9)
resid(Armax,DataEstimasi)

```

2. Listing Koefisien ARMAX



ListingKoefArmax.m

```

clear
clc

%% Jumlah Data Modeling
xx = 35;

%% Mengambil Data dari File IO.xlsx
DataPengukuran = xlsread('Data.xlsx','Sheet4');

%% Input dan Output
Input = DataPengukuran(:,1:2);
Output = DataPengukuran(:,3);

%% Plottind Input Output dalam Grafik
figure(1)
idplot([Output Input])
grid on

%% Dtrend Data
InputNew = (DataPengukuran(:,1:2));
OutputNew = (DataPengukuran(:,3));

%% Plottind Input Output dalam Grafik Hasil Praprocessing
figure(2)
idplot([OutputNew InputNew])
grid on

%% Data untuk Pemodelan dan Estimasi
DataModelling = [OutputNew(1:xx,1) InputNew(1:xx,1:2)];
DataEstimasi = [OutputNew(xx+1:end,1) InputNew(xx+1:end,1:2)];

%% ARMAX Modelling

```

```

koef = [];
FIT = [];
for a = 2:5
    for b = 2:5
        for c = 2:5
            for d = 2:5
                for e = 0:5
                    for f = 0:5
                        Armax = armax(DataModelling,[a b c d e
f]);

                        [yh fit] = compare(DataModelling,Armax);
                        [yh2 fit2] = compare(DataEstimasi,Armax);
                        koef = [koef; [a b c d e f]];
                        FIT = [FIT; [fit fit2]];
                        [a b c d e f]
                    end
                end
            end
        end
    end
end

save('databaru.mat','FIT','koef')

% 5      5      3      4      5      4

```

3. Listing Mencari Koefisien ARMAX



CariKoeffisienArmax.m

```

clear
clc

load databaru
model = FIT(:,1);
estimasi = FIT(:,2);

xm = find(model>=60 & model<=100);
xe = find(estimasi>=60 & estimasi<=100);

le = length(xe);
lm = length(xm);

saving = [];
for n = 1:le
    number = find(xm==xe(n));
    saving = [saving; number];
end

noasli = xm(saving);
format short
[model(noasli) estimasi(noasli) koef(noasli,:)]

```