

**“Dedicating
Geothermal Energy to
Community Prosperity”**

**Company Profile
Table of Contents
Abstract
EXIT**

**5th Indonesian Geothermal Association
Annual Scientific Conference & Exhibition
Yogyakarta, March 7 - 10, 2001**



**Editors : Sudarmoyo, Bambang Bintarto
Eko widi P., Saryana, Fanora**



**THE 5TH INDONESIA GEOTHERMAL ASSOCIATION
ANNUAL SCIENTIFIC CONFERENCE & EXHIBITIONS
Yogyakarta, March 7-10, 2001**

FROM EDITOR

COMMITTEE MEMBERS

CONVENOR

PROF. DR. ICHLASUL AMAL, M.A.

STEERING COMMITTEE

Anton Wahjosoedibjo (Chairman)

Untung Sumotarto

Prijanto

Feri Lasman

Sayogi Sudarman

Samsul Kamal

Djoko Wintolo

Gempar T. Hariono

Ismail

Verina Utari

ORGANIZING COMMITTEE

Chairpersons

Pri Utami

Samsul Kamal

Bambang Pratistho

Secretariat

Mochamad Nukman

Eko Widi Pramudio Hadi

Bambang Bintarto

Treasurers

Anastasia Dewi Titisari

Dewi Sri Sayudi

Technical Programs

Sudarmoyo (coordinator)

Sutrisno

Sukrisno

Djoko Wintolo

Sudjarmiko

Supranto

Indarto

Bambang Pratistho

Yos Sumantri

Exhibitions

Saptono Budi Samodra

Feri Lasman

Fieldtrip & Social Programs

Agus Hendratno

I.B. Jagranatha

Agus Widiyarso

Technical Sessions & Ceremonials

Sugeng Sapto Surjono

Ev. Budiadi

Partama Misdiyanta

Accommodation

Anastasia Dewi Titisari

Security Coordinator

Saptono Budi Samodra

Student Volunteer Coordinators

Umi Akhdadiyah

Tutus Fidiatmoko

IGA Board of directors Meeting

Samsul Kamal

Bambang Pratistho

API/INAGA BOARD OF DIRECTORS

Puguh Sugiharto (Chairperson)

Tri Harwanto, (Vice Chairperson)

Riki F. Ibrahim (Sec. General)

Kris Pudyastuti

Herman Darnel

Novi Ganefianto

Roes Aryawijaya

FROM EDITOR

The Indonesian Geothermal Association (INAGA) or Asosiasi Panasbumi Indonesia (API) was established in 1991 as a National Organization of Indonesian Geothermal Professional Society. INAGA or API has held Annual Scientific Conference & Exhibition every year since November 23-27, 1996 as a means to encourage the development and promotion of Indonesian geothermal energy.

The theme of 2001 INAGA Annual Scientific Conference & Exhibition that held in Yogyakarta Indonesia March 7-10, 2001 is "**Dedicating Geothermal Energy to Community Prosperity**". The meeting during the conference-reflect viewpoints of geothermal development from worldwide geothermal experts, mostly from Indonesian geothermal society to day.

The technical program committee have selected 45 papers from 59 good abstracts submitted to committee from international and domestic authors prior to the deadline (February 20, 2001), consisting of 39 papers for oral presentation and 6 papers for poster presentation. These Proceeding, consisting of 15 earth science papers, 15 technology/engineering papers and 15 general issues papers (business, regulation, social & environmental issue, and human resource development). The Proceeding provide information and data on geothermal research, geothermal technology, geothermal business, CDM & environmental, and ideas in Geothermal training, and development progress in several geothermal fields in New Zealand, Philippines, Iceland, Japan, and Indonesia.

Thirty-nine geothermal experts, mostly from Indonesia, New Zealand, Philippines, Japan, Iceland, Germany and USA contribute the conference and present papers with varying topics : Exploration, Drilling, Technology, CDM & Environment, Geothermal Training, and Power Generation.

The editors apologize that some papers presented in technical session are not printed in the proceeding because of late submission to the Technical Program Committee.

Many people have made valuable contributions to activities of the conference. Special thanks is given to presenters and moderators for their valuable efforts and to all the our best friends for their participation in finishing this proceeding.

Last February, 2001

Editor :
Sudarmoyo
B. Bintarto
Eko Widi, P.
Saryana
Fanora.



Duct Pipe Optimization For Geothermal Fluid In Water Dominated Reservoir

Eko Widi Pramudiodhadi¹, Sayogi Sudarman²

¹ Petroleum Dept UPN "Veteran" Yogyakarta.

² PERTAMINA Geothermal Div.

Key Words: Water dominated, Duct pipa, Optimization parameters.

ABSTRACT

A single pipe model for simulating the flow of geothermal fluid in a well, in a two phase flow line and in a steam line is used to determine optimum diameter of casing, two phase line, steam line as well as optimum thickness of insulator.

The inlet parameters such as pressure, temperature, diameter, mass flow and steam quality are the main factors which influence the pressure loss are used as a basis of main optimization.

There are two problems. The first is production restriction and the second is investment of duct pipe that has cost limitation. Both problems can be solved by doing the optimization of duct pipe, involving the technical and economical aspects.

WellSim simulator is used to predict the pressure loss in the bottom hole and surface, and on the other way around. The output, namely pressure, mass flow rate, temperature, dryness and enthalpy of the wellhead are used as input data for PipeSim. PipeSim is a simulator used for calculating the pressure loss in the surface and then they are used to calculate power output from turbine and net present value. PipeSim simulator provides the parameters to determine optimization.

In the present study data of well Sibayak-05 (Sibayak field) is used for determining optimum diameter of casing, surface line and insulation optimum thickness. The result shows that optimum production casing diameter is 13-3/8 in, inside diameter of two phase duct pipe is 0.5368 m (outside diameter is 0.5588 m), insulation pipe of two phase flow is 2 cm, inside steam pipe diameter is 0.2476 m (outside diameter is 0.2731 m), pipe insulation thickness for steam flow is 7.5 cm.

1. Pendahuluan.

Pipa salur pada suatu sistem produksi panasbumi merupakan media alir fluida reservoir. Di bawah permukaan meliputi aliran di sekitar sumur, aliran melalui slot liner, blind liner, casing produksi sedangkan di permukaan aliran melalui kepala sumur (well head), pipa alir dua fasa, separator, pipa alir satu fasa dan berakhir pada turbin yang dilengkapi kondenser. Pipa salur ini perlu dioptimalkan karena terjadinya problem seperti terbentuknya endapan silika, terproduksinya Non Condensable Gas (NCG) dalam jumlah berlebihan, adanya kecepatan aliran yang tinggi sehingga dapat mengikis dinding pipa, tekanan masuk turbin yang tidak terpenuhi dan komponen turbin yang cepat rusak.

Optimasi dilakukan dengan mengoptimalkan diameter pipa salur di dalam sumur dan di permukaan. Di dalam sumur meliputi diameter casing dan rangkaiannya. Di permukaan meliputi diameter pipa aliran dua fasa (termasuk tebal isolasi) dan diameter pipa aliran uap (termasuk tebal isolasi dan sistem pembuang kondensat) dengan memperhitungkan kemungkinan terjadinya problem-problem tersebut diatas.

Penentuan parameter penentu optimasi (kehilangan tekanan, kehilangan panas, kecepatan fluida, temperatur aliran, daya dari turbin dan nilai uang saat ini) sering kali sulit dilakukan sehingga penulis mencari penyelesaiannya dengan menggunakan program komputer. Parameter aliran dihitung berdasarkan kesetimbangan energi dan penyelesaiannya dilakukan perbagian pipa.

Perencanaan dengan melakukan optimasi pipa salur perlu dilakukan karena menyangkut investasi sistem produksi secara keseluruhan, sehingga timbul permasalahan, pertama investasi pipa salur yang ditanamkan dan kedua yang berhubungan dengan masalah operasional selama proses produksi,

menyangkut adanya hambatan produksi. Kedua masalah ini dapat diselesaikan dengan mengkompromikannya dengan cara memasukkan kemungkinan terjadinya kondisi terburuk selama operasional (aspek teknik) dan perolehan keuntungan saat ini yang maksimal sebagai cara optimasi pipa salur.

Permasalahan selanjutnya berhubungan dengan perencanaan dan evaluasi operasional pipa salur meliputi, penentuan kehilangan tekanan, penentuan panas yang hilang dan penurunan temperatur aliran, penurunan entalpi, penentuan daya turbin, perkiraan biaya investasi pipa salur dan penentuan diameter pipa (dan tebal isolasi untuk pipa dipermukaan).

Pada proses kehilangan tekanan, terjadi penurunan kualitas uap (dryness), temperatur, entalpi sebagai suatu perilaku aliran di dalam pipa salur dan untuk mempelajarinya menggunakan simulator, yaitu simulator WellSim, dibuat oleh Genzl (Auckland-New Zealand) dan simulator PipeSim yang dibuat oleh penulis sebagai bagian dari studi ini.

WellSim merupakan simulator yang dikembangkan dengan menggunakan prinsip kesetimbangan energi, menghitung kehilangan tekanan dari dasar sumur menuju permukaan (atau sebaliknya) sehingga dapat memberikan gambaran mengenai penurunan perubahan temperatur, dryness dan entalpi di dalam casing, dengan demikian dapat diperoleh potensi sumur hingga di permukaan.

Simulator PipeSim juga menggunakan prinsip kesetimbangan energi sehingga dapat memberikan gambaran mengenai penurunan dryness, temperatur dan entalpi pada pipa dipermukaan, juga simulator ini melibatkan perhitungan perolehan daya turbin dan nilai uang sekarang akibat adanya investasi pipa salur sebagai parameter penentu optimasi.

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji dengan menggunakan diameter optimum pipa salur, besarnya daya turbin, dan investasi berdasarkan data lapangan.

Penelitian ini disarikan dari tesis penulis pada Jurusan Teknik Perminyakan Institut Teknologi Bandung, Bidang Khusus Panasbumi.

2. METODA OPTIMASI.

2.1 Batasan Kreteria Optimum.

Karena diproduksi suatu sumur akan terjadi kehilangan tekanan, selaras dengan penurunan temperatur, kualitas uap dan penurunan entalpi (pada aliran mantap). Juga akan terjadi problema (hambatan) produksi yang menyangkut sifat-sifat fisik fluida dan media yang dilalui. Hambatan ini harus dimasukkan sebagai pertimbangan optimasi pipa salur, yaitu :

1. Temperatur terbentuknya endapan Silika (silica scale).
Terbentuknya endapan di pipa salur tidak dikehendaki, karena akan menyebabkan terhambatnya aliran fluida ke turbin. Untuk mencegah terbentuknya endapan maka pipa alir harus didisain sedemikian rupa sehingga temperatur fluida tidak lebih rendah dari temperatur terbentuknya endapan. Fournier (1986)¹³⁾ mengemukakan temperatur kelarutan silika (dalam ppm) dan terdiri dari bermacam-macam bentuk yaitu : quartz, chalcedony, α - cristobalite, opal dan amorphous silica, masing-masing menunjukkan variasi kelarutan yang berbeda-beda, Gambar-1. menunjukkan kelarutan jenis silika tersebut, umumnya terjadi endapan quartz dan amorphous silica. Dari Gambar 1, pada temperatur 325 °C, merupakan temperatur maksimal (kondisi reservoir) dengan kelarutan quartz maksimal 625 ppm, sedangkan amorphous silika 1325 ppm, jika pada temperatur 301°C (dalam reservoir) terdapat kandungan amorphous silika 1220 ppm, maka belum terjadi endapan, jika temperatur produksi aliran di separator pada temperatur 180 °C (tekanan pemisahan 10 bar), agar tidak terjadi pengendapan kandungan silika jangan melebihi 825 ppm.
2. Kandungan Non Condensable Gas yang kecil pada tekanan kepala sumur yang dipilih. NCG merupakan gas yang tidak dapat dicairkan. Gas tersebut meliputi H₂S dan CO₂ jika terlalu besar kandungan akan menyebabkan :
 - a. Pengurangan daya yang di timbulkan turbin akibat beda entalpi yang masuk dan keluar turbin kecil .
 - b. Timbulnya korosi pada peralatan yang dilalui fluida panasbumi yang berasosiasi dengan NCG.
3. Kecepatan fluida di dalam pipa aliran dua fasa dan pipa aliran satu fasa uap.^{6,12)}
Batas kecepatan dalam pipa aliran dua fasa dan aliran satu fasa perlu ditetapkan, batas kecepatan minimal menggambarkan batas perpindahan panas untuk mencapai proses adiabatik, sedangkan batas kecepatan maksimum menyatakan batas tidak terjadi pengikisan dinding pipa bagian dalam. batas tersebut adalah:
 - a. Batas kecepatan pada pipa aliran dua fasa, batas minimal 20 m/s dan batas maksimal 30 m/s.
 - b. Batas kecepatan pada pipa aliran satu fasa uap, batas minimal 30 m/s dan batas maksimal 50 m/s.
4. Adanya bagian turbin yang rusak
Jika kualitas uap yang masuk turbin kurang memadai karena kandungan kondensatnya terlalu tinggi, maka sudu-sudu turbin akan cepat terkorosi. Oleh karena itu perlu dilakukan pencegahan agar kondensat yang masuk keturbin sekecil mungkin, hal ini dapat dilakukan pada awal

perencanaan pipa alir uap di permukaan, yaitu dengan menempatkan peralatan pembuang kondensat terutama jarak dan efisiensinya.

5. Tekanan masuk turbin harus terpenuhi.
Suatu turbin memiliki tekanan masuk yang ditetapkan, sehingga perlu menghitung kehilangan tekanan pada pipa untuk aliran dua fasa dan pipa untuk aliran satu fasa (uap), terhadap pemilihan tekanan kepala sumur, dinyatakan : $P_{wh} = \text{Kehilangan tekanan di pipa aliran dua fasa} + \text{Kehilangan tekanan di pipa aliran uap} + \text{Tekanan masuk turbin}$
6. Nilai uang saat sekarang yang tinggi.^{4,20)}
Untuk mendapatkan nilai uang sekarang yang tinggi, perolehan daya harus maksimal pada diameter (termasuk tebal isolasi) pipa salur tertentu.

Syarat kesatu hingga kelima merupakan syarat teknis artinya harus dipenuhi secara mutlak agar problema produksi dapat ditekan sekecil mungkin selama kontrak sedangkan syarat keenam merupakan syarat dari aspek ekonomi yang tidak harus maksimum dipilih jika syarat aspek teknis terpenuhi. Pada prinsipnya bagian yang akan dioptimumkan dilakukan sensitivitas, sedangkan data masukan lainnya pada simulator PipeSim diasumsikan tetap (menggunakan data lapangan).

2.2 Optimasi Diameter Casing.

Parameter penentu optimasi yang dikeluarkan oleh simulator PipeSim adalah :

1. Variasi diameter casing produksi (m).
2. Kecepatan fluida pada pipa alir dua fasa (m/s).
3. Kehilangan tekanan pada pipa alir dua fasa (bar).
4. Temperatur input separator (°C).
5. Kecepatan uap pada pipa alir satu fasa (m/s).
6. Kehilangan tekanan pada pipa alir untuk uap (bar).
7. Temperatur input turbin (°C).
8. Daya yang dibangkitkan turbin (Mw).
9. Keuntungan bersih saat sekarang (NPV) (\$).

Hasil plot variasi diameter casing terhadap butir kedua hingga kesembilan akan diperoleh seperti pada Gambar-L1.1 pada Lampiran-I. Diameter casing yang dipilih adalah diameter yang memenuhi aspek teknik (mutlak) baru kemudian keuntungan bersih saat ini yang maksimal.

2.3 Optimasi Diameter Pipa Alir Dua Fasa.

Data yang digunakan tetap adalah diameter casing yang optimum, sedangkan parameter penentu optimasi yang diperlukan dari keluaran simulator PipeSim adalah :

1. Diameter (dalam) pipa alir dua fasa (m).
2. Kecepatan rata-rata aliran pada pipa dua fasa (m/s).
3. Kehilangan tekanan pada pipa dua fasa (bar).
4. Temperatur pada in put separator (°C).
5. Daya yang ditimbulkan (Mw).
6. Nilai uang saat ini karena investasi pipa salur (\$).

Hasil plot diameter (dalam) terhadap parameter butir dua hingga keenam dapat dilihat pada Gambar-L1.2. pada Lampiran-L.I. Diameter yang dipilih harus memenuhi aspek teknis, kemudian memberikan keuntungan saat ini maksimal.

2.4 Optimasi Tebal Isolasi Untuk Pipa Alir Dua Fasa.

Data tetap yang digunakan adalah diameter casing dan diameter pipa alir dua fasa yang optimum, sedangkan parameter penentu optimasi yang diperlukan dari keluaran simulator PipeSim adalah :

1. Ketebalan isolasi pipa alir dua fasa (m).
2. Panas yang hilang sepanjang pipa alir dua fasa (kW).
3. Temperatur input Separator ($^{\circ}\text{C}$).
4. Daya dihasilkan turbin (Mw).
5. Nilai uang saat ini karena investasi pipa salur (\$).

Hasil plot ketebalan isolasi terhadap parameter butir kedua hingga keenam dapat dilihat pada Gambar-L1.3 di Lampiran-L.I. Tebal isolasi yang dipilih harus memenuhi aspek teknis dan memberikan keuntungan saat ini maksimal.

2.5 Optimasi Diameter Pipa Untuk Aliran Satu Fasa Uap.

Data optimum yang tetap digunakan adalah diameter casing, diameter pipa alir dua fasa dan ketebalan isolasi pipa alir dua fasa, sedangkan parameter penentu optimasi yang diperlukan dari keluaran simulator PipeSim adalah :

1. Diameter (dalam) pipa alir uap (m).
2. Kecepatan rata-rata dalam pipa alir uap (m/s).
3. Kehilangan tekanan pada pipa alir uap (bar).
4. Temperatur input turbin ($^{\circ}\text{C}$).
5. Perolehan daya (Mw) dari turbin.
6. Nilai uang saat ini karena investasi pipa salur (\$).

Plot diameter pipa alir uap terhadap parameter butir kedua hingga ke enam akan diperoleh seperti pada Gambar-L1.4 pada Lampiran-L.I, diameter yang dipilih harus memenuhi aspek teknis kemudian memberikan nilai uang saat sekarang yang maksimum.

2.6 Optimasi Tebal Isolasi Pipa Uap.

Data optimum yang tetap digunakan adalah diameter casing, diameter pipa alir dua fasa, ketebalan isolasi pipa alir dua fasa dan diameter pipa uap, sedangkan parameter penentu optimasi yang diperlukan sebagai keluaran simulator PipeSim adalah :

1. Variasi tebal isolasi pipa alir uap (m).
2. Panas yang hilang sepanjang pipa uap (kW).
3. Temperatur input turbin ($^{\circ}\text{C}$).
4. Daya yang ditimbulkan oleh turbin (Mw).
5. Nilai uang saat ini karena investasi pipa salur (\$).

Plot tebal isolasi pipa uap terhadap parameter butir kedua hingga keenam akan diperoleh pada Gambar-L1.5 di Lampiran-L.I. Tebal isolasi yang dipilih harus memenuhi aspek teknis baru kemudian yang memberikan keuntungan saat ini yang maksimum.

III. HASIL

Sebagai studi kasus, dalam studi ini akan dilakukan optimasi pipa salur untuk sumur SBY-5 yang terletak di lapangan Sibayak (Unit Eksploitasi Produksi PERTAMINA, Sumatera Utara). Sumur ini terletak di permukaan pada koordinat x : 444.543 meter east dan y : 356.677 meter north, sedangkan koordinat di bawah permukaan x : 444.937 meter east dan y : 357.54 meter north. Sumur SBY-5 merupakan sumur berarah dengan Kick Off Point (KOP) pada kedalaman 508 m,

sedangkan konstruksi sumur dapat dilihat pada Gambar-L2.1, Lampiran- L.II.

Dari uji sumur, yaitu uji heating up selama kurang lebih empat bulan, diperkirakan tekanan reservoirnya sebesar 108.8 bar dan temperaturnya adalah sebesar 301°C . Pengujian produksi telah dilakukan dan sebagai input WellSim.

Bersamaan dengan uji produksi, dilakukan sampling dan diperoleh kandungan Non Condensable Gas (NCG) CO_2 sebesar 2.65 % (berat) dan H_2S sebesar 0.03 % (berat) pada tekanan kepala sumur 10.8 bar, sedangkan kandungan NaCl dalam cairan sebesar 0.04% (berat).

Berdasarkan data pemboran dan pengujian sumur, diperkirakan kedalaman zona produksi (feed zone) terdapat pada kedalaman 2150 m (kedalaman ukur atau KU) hingga 2175 mKU, berdasarkan pengambilan sampel fluida pada kedalaman 2150 mKU didapat kandungan SiO_2 sebesar 1220 ppm.

Sumur SBY-05 terletak pada kluster B. Route pipa salur di permukaan direncanakan berdasarkan peta topografi elevasi relatif datar, dengan jarak separator dari kepala sumur 250 m (panjang pipa alir dua fasa) dan jarak dari separator menuju turbin (panjang pipa alir uap) sekitar 400 m, dengan temperatur 26°C di permukaan, pipa dan isolasi yang akan dipasang memiliki karakteristik seperti pada Tabel-3.1 dengan tebal pipa di permukaan 12.7 mm. Sedangkan turbin direncanakan memiliki tekanan masuk sekitar 10 bar dan tekanan keluar (masuk kondenser) sebesar 0.1 bar.

Data harga yang diperlukan meliputi harga casing, harga pipa di permukaan, harga cladding, mengikuti harga di pasaran yang ada di pabrik (free on board), sedangkan data kontrak, dinyatakan oleh pihak pengelola (PERTAMINA) sebagai berikut : Harga jual uap 3.7 cent/kWh, tingkat bunga 10 %, lama kontrak 30 tahun.

Dengan menggunakan Simulator WellSim diperoleh out put curve seperti pada Gambar-2, yang kemudian digunakan sebagai masukan untuk simulator PipeSim. Simulator PipeSim menggunakan asumsi bahwa kehilangan tekanan karena adanya belokan dan valve diabaikan. Pipa untuk aliran dua fasa dan aliran satu fasa dianggap sebagai pipa utama tunggal. Pada separator tidak terjadi penurunan tekanan dan temperatur²¹.

3.1 Optimasi Diameter Casing.

Dengan menggunakan data out put curve dan data sistem produksi perpipaan di permukaan, pada tekanan kepala sumur 11 bar diperoleh hasil untuk optimasi casing dengan plot diameter casing terhadap parameter penentu optimasi dapat dilihat pada Gambar-L3.1 Lampiran- L.III.

Berdasarkan profil kecepatan, dengan menggunakan ukuran diameter (dalam) pipa alir dua fasa 0.5368 m dan batasan kecepatan 20 m/s hingga 30 m/s serta panjang pipa 250 m, ukuran casing 9-5/8 in, 13-3/8 in dan 20 in, memenuhi batasan kecepatan tersebut, sedangkan untuk pipa uap dengan diameter (dalam) 0.2476 m, panjang pipa 400 m dan batasan kecepatan antara 30 m/s hingga 50 m/s, ukuran casing yang memenuhi batasan kecepatan adalah 9-5/8 in, 13-3/8 in dan 20 in. Pada profil kehilangan tekanan, kehilangan tekanan pada pipa alir dua fasa jauh lebih kecil dibandingkan kehilangan tekanan pada pipa alir uap karena kecepatan uap yang tinggi, pada pipa alir

uap dengan diameter 7 in, 9-5/8 in dan 13-3/8 in terjadi kehilangan tekanan yang meningkat tajam, kemudian stabil dimulai dari casing 13-3/8 in dan 20 in. Pada profil temperatur, menyatakan temperatur ujung keluar pipa alir dua fasa dan temperatur keluar ujung pipa uap, dimana pada pipa alir dua fasa dengan batasan minimal 180 °C di separator semua ukuran casing yang tertera memenuhi syarat namun untuk memenuhi kebutuhan tekanan masuk turbin sebesar 10 bar (setara dengan temperatur 180 °C) ukuran casing 9-5/8 in dan 13-3/8 in yang memenuhi syarat.

Berdasarkan profil perolehan daya, ukuran casing 13-3/8 in memberikan daya yang terbesar, hal yang sama pada profil nilai uang sekarang memberikan keuntungan maksimal.

3.2 Optimasi Diameter Pipa Alir Dua Fasa.

Dengan menggunakan ukuran casing rangkaian 13-3/8 in, dari simulator PipeSim diperoleh hasil seperti Gambar-L3.2 pada Lampiran-L.III.

Pada profil kecepatan (rata-rata) untuk aliran fluida dua fasa dengan batasan minimum 20 m/s hingga batas maksimum 30 m/s, ukuran pipa dengan diameter (dalam) yang memenuhi syarat kecepatan adalah 0.482 m, 0.5368 m dan 0.584 m. Pada profil kehilangan tekanan, dan dapat dikorelasikan dengan profil temperatur, semua ukuran diameter dalam pipa yang tertera menghasilkan temperatur diatas 180 °C. Pada profil perolehan daya memiliki kecenderungan bahwa semakin besar diameter (dalam) pipa aliran dua fasa, akan memberikan daya yang semakin meningkat, namun berdasarkan aspek teknis ke tiga diameter dalam diatas yang memenuhi, namun berdasarkan profil nilai uang sekarang diameter dalam 0.5368 m yang memenuhi.

3.3 Optimasi Tebal Isolasi Pipa Alir Dua Fasa.

Dengan menggunakan diameter casing 13-3/8 in dan diameter pipa alir dua fasa 0.5368 m, hasilnya keluaran simulator PipeSim dinyatakan pada Gambar-L3.3, Lampiran-III.

Berdasarkan profil kehilangan panas pada pipa alir dua fasa menyatakan semakin tebal isolasi, panas yang dilepaskan semakin kecil atau berdasarkan profil temperatur, semua ketebalan isolasi yang tertera memberikan temperatur keluar (masuk separator) diatas 180 °C. Berdasarkan profil perolehan daya, juga memberikan kecenderungan dengan semakin tebal isolasi akan memberikan daya yang semakin besar. Berdasarkan profil keuntungan bersih saat sekarang dengan syarat temperatur separator 180 °C, tebal isolasi pipa uap sebesar 2 cm memberikan keuntungan maksimal.

3.4 Optimasi Diameter Pipa Alir Uap.

Dengan menggunakan data diameter casing 13-3/8 in, diameter dalam pipa alir dua fasa 0.5368 m dan tebal isolasi 2 cm, hasil keluaran simulator PipeSim dinyatakan pada Gambar-L3.4 Lampiran-III.

Berdasarkan profil kecepatan uap, dengan batasan kecepatan uap minimal 30 m/s hingga maksimal 50 m/s hanya dipenuhi oleh diameter dalam pipa alir uap sebesar 0.2476 m.

Berdasarkan profil kehilangan tekanan, jika di cek dengan profil temperatur pada ujung keluar pipa alir uap yang

memenuhi syarat adalah diameter dalam 0.2476 m memberikan temperatur keluar sebesar 179.89 °C hal ini sangat kritis sebagai masukan tekanan turbin sebesar 10 bar (180 °C). Pada profil perolehan daya, memberikan kecenderungan bahwa semakin besar diameter pipa alir uap akan menghasilkan daya yang semakin besar. Dengan demikian dari aspek teknis yang memenuhi adalah diameter dalam 0.2476 m, ternyata dari profil nilai uang sekarang memberikan keuntungan sebesar \$12546000.

3.5 Optimasi Tebal Isolasi Pipa Alir Uap.

Dengan menggunakan data diameter casing 13-3/8 in, diameter dalam pipa alir dua fasa 0.5368 m, tebal isolasi pipa alir dua fasa 2 cm dan diameter dalam pipa alir uap 0.2476 m, hasil keluaran simulator PipeSim dinyatakan pada Gambar-L3.5 Lampiran-III.

Berdasarkan profil kehilangan panas, memberikan kecenderungan bahwa semakin tebal isolasi, kehilangan panas semakin kecil dan berdasarkan profil temperatur, diatas ketebalan 7 cm memberikan temperatur input turbin mendekati 180 °C, dari profil perolehan daya, semakin tebal isolasi, turbin memberikan daya semakin besar, sedangkan berdasarkan profil nilai uang sekarang ketebalan isolasi 7.5 cm memberikan keuntungan yang maksimal.

IV. DISKUSI

Analisa optimasi pipa salur fluida panasbumi sering menghadapi kendala karena kurang telitinya dalam memperkirakan perubahan beberapa parameter yang berpengaruh, seperti parameter penentu optimasi dan harus ditentukan terlebih dahulu sebelum melakukan optimasi.

Permasalahan dalam melakukan optimasi pipa salur menyangkut parameter teknis dan ekonomis. Parameter teknis berhubungan dengan parameter aliran terutama kehilangan tekanan yang disertai penurunan temperatur, dryness, entalpi yang pada proses penurunannya dibatasi oleh kondisi terbentuknya endapan silika, kehilangan panas, kecepatan fluida, tekanan turbin dan kandungan NCG yang diproduksi, kondisi diatas dapat dikurangi dengan mengkompromikan parameter teknis dan ekonomi dengan membuat model untuk menentukan diameter casing dan pipa di permukaan serta tebal isolasi yang optimum.

Berapa penyederhanaan terhadap model, dengan melakukan asumsi fluida yang mengalir hanya air dan uap, sedangkan dipermukaan, tidak memperhitungkan kehilangan tekanan karena adanya belokan dan valve (secara umum kehilangan tekanan melalui valve dan belokan dapat dinyatakan dalam panjang ekwivalen pipa, sehingga tinggal menambahkannya terhadap panjang pipa yang riil ada).

Optimasi tersebut sangat dipengaruhi oleh aliran fluida di dalam casing maupun di permukaan. Perilaku aliran di dalam casing, dapat dinyatakan, dengan semakin besar diameter casing, kecenderungannya :

- Kehilangan tekanan semakin kecil.
Dengan pola aliran annular, kehilangan tekanan berdasarkan hasil perhitungan, diameter casing berbanding terbalik terhadap gradien tekanan.
- Entalpi tetap (asumsi terjadi proses isentalpi).
- Temperatur kepala sumur semakin kecil.

Semakin besar diameter casing, luas permukaan untuk perpindahan panas akan lebih besar sehingga perpindahan panas ke formasi akan semakin besar, berdasarkan kesetimbangan energi, temperatur di kepala sumur akan semakin kecil.

Aliran di permukaan baik pada aliran pipa dua fasa maupun pada pipa aliran satu fasa, memiliki kecenderungan yang sama, yaitu :

- a. Pada tebal isolasi tetap, dengan diameter pipa diperbesar, kelakuan alirannya dapat dinyatakan :
 - kecepatan fluida semakin kecil.
Gejala ini dapat dijelaskan, menurut hukum kontinuitas pada aliran mantap, karena luas penampang aliran pipa semakin besar.
 - temperatur di ujung keluar aliran semakin kecil.
Hubungannya terhadap temperatur diujung grid aliran keluar, berasal dari persamaan keseimbangan energi, karena adanya pelepasan panas sepanjang pipa, dengan semakin besar diameter pipa akan memperluas bidang pelepasan panas.
 - kehilangan tekanan semakin kecil.
Menurut persamaan kehilangan tekanan, semakin besar diameter pipa pada laju massa yang tetap kecepatan fluida akan rendah sehingga bilangan reynold akan mengecil akibatnya komponen kehilangan tekanan karena pengaruh friksi juga kecil.
- b. Diameter pipa tetap, tebal isolasi bertambah :
Kecenderungan perilaku aliran dinyatakan :
 - Kehilangan panas semakin kecil.
Karena koefisien perpindahan panas menyeluruh berdasarkan diameter luar isolasi semakin mengecil.
 - Temperatur ujung pipa alir keluar semakin besar.
Karena kehilangan panas semakin mengecil berdasarkan persamaan kesetimbangan energi temperatur diujung pipa keluar akan semakin membesar.

Terjadi hal yang berlawanan pada peningkatan diameter pipa dan peningkatan tebal isolasi, pada pertambahan diameter pipa terjadi peningkatan perpindahan massa dan peningkatan pelepasan panas. Pada pelepasan panas yang semakin besar akan menyebabkan kualitas uap cepat menurun, sehingga menambah terbentuknya kondensat, pada pipa alir fluida dua fasa tidak menjadi masalah karena tetap dibuang melalui separator sehingga jarak separator terhadap kepala sumur harus sedekat mungkin, namun pada pipa alir uap timbul kondensat akan menyebabkan penurunan entalpi dan dryness sehingga perlu dipasang alat pembuang kondensat. Dapat dinyatakan peningkatan diameter pipa baik pada pipa alir dua fasa maupun pipa alir satu fasa akan menurunkan entalpi.

Sedangkan peningkatan tebal isolasi pada fluk massa yang tetap, perpindahan panas keluar sistem dapat ditekan untuk menjadi lebih kecil, sehingga temperatur akan meningkat pada titik keluar aliran (pada jarak yang tetap). Peningkatan tebal isolasi menambah kenaikan entalpi.

Pada penambahan diameter pipa terhadap perolehan daya juga menunjukkan peningkatan daya yang diperoleh, ini menunjukkan peran pertambahan massa terhadap entalpi lebih besar, namun temperaturnya menurun, ini tidak menjamin tekanan turbin terpenuhi.

Pada penambahan tebal isolasi juga menunjukkan penambahan perolehan daya, karena pada laju massa yang tetap terjadi peningkatan entalpi, ini lebih menjamin karena temperatur akan

meningkat sehingga tekanan turbin lebih memungkinkan tercapai.

Dengan demikian penambahan tebal isolasi lebih memungkinkan dari segi aspek teknis, namun investasi penambahan tebal isolasi sangat mahal, sehingga hal ini tidak pernah dilakukan, maka untuk meningkatkan daya turbin harus mengkompromikan pengaruh massa dan entalpi dengan mengoptimalkan diameter casing untuk di dalam sumur maupun diameter pipa dipermukaan termasuk tebal isolasi pipa, dengan memasukkan faktor hambatan operasional produksi dan pengaruh investasi pipa salur.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan bahasan diatas dapat disimpulkan pada sumur Sby-05 parameter optimum pipa salurnya sebagai berikut :

1. Ukuran casing produksi 13-3/8 in.
2. Diameter dalam (D_i) pipa alir pipa dua fasa 0.5368 m ($D_o = 0.5588$ m).
3. Tebal isolasi pipa dua fasa 2 cm.
4. Diameter dalam (D_i) pipa uap 0.2476 m ($D_o = 0.2731$ m).
5. Tebal isolasi pipa alir uap 7.5 cm.
6. Penambahan diameter pipa salur (pada tebal isolasi tetap), akan menurunkan kehilangan tekanan, menambah besar kehilangan panas dan menurunkan temperatur fluida. Penambahan ketebalan isolasi (pada diameter yang tetap), akan memperkecil pelepasan panas dan menaikkan temperatur fluida.

Daftar Pustaka.

- Aramstead H.C, *Geothermal Energy*, Edisi Kedua, E and FN. Spon Ltd.
- Brown E.K, *The Technology of Artificial Lift Methods*, Penn-Well Publishing, Volume 1, Oklahoma.
- Brown P.R.L, *Teaching The Teacher*, Earth Science edition, Institute Teknologi Bandung, 1996.
- Brown D, *Criteria For Optimisation of Geothermal Plant For Electricity Production*, Materi kuliah, Geothermal Institut, University of Auckland, New Zealand.
- Buku Petunjuk Wellsim*, Design Power Genzl, Divisi Panasbumi, New Zealand, 1998.
- Freestone D.H, *Teaching The Teacher*, Geothermal Technology, Engineering Edition, Vol 1, 2, 3, Institut Teknologi Bandung, 1986.
- Grant M, Donaldson I.G, Bixley P.F, *Geothermal Reservoir Engineering*, Academic Press Inc, London, 1982.
- Hawkins A.G, Max J, *Element of Heat Transfer and Insulation*, second edition, Jhon Wiley and Sons Inc, London, 1957.
- Hadgu T, *Vertical Two-Phase Flow Studies and Modelling of Flow In Geothermal Wells*, University of Auckland, Departement of Mechanical Engineering, 1989.
- Holman J.P, *Heat Transfer*, Edisi ke 6, McGraw-Hill, Ltd, alih bahasa oleh Jasjfi. E, Lemigas, Airlangga.

Laporan pemboran, Uji Produksi, Pengambilan conto dan Analisa kimia sumur SBY-5, area panasbumi EP Sibayak, BB no : 482 / Dt.400/96-B1, 1977.

Lee K.C, *Geothermal Production Technology*, Geothermal institute University of Auckland, 1994.

Nicholson K, *Geothermal Fluids*, Springer Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1993.

Perry, *Chemical Engineers Handbook*, edisi ke 6, McGraw-Hill, 1978.

Rogers G.F.C and Mayhaw, *Thermodynamic and Transport Properties of Fluid*, edisi ke 4, Cambridge, Blackwell Publisher, 1993.

Saptadji N.M. Dr, *Rekayasa Perangkat Lunak Untuk Aplikasi Komputasi Dalam Produksi Panasbumi*, Laboratorium Geotermal, Jurusan Teknik Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, 1997.

Taufan M, *Aplikasi Metoda Iterasi Newton-Raphson Dalam Peramalan Aliran Fluida Dua Fasa Pada Sistem Uap Dan Air*

Dalam Pipa, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, 1998.

Tortike S, Farouq A.S.M, *Saturated Steam Property Functional Correlations For Fully Implicit Thermal Reservoir Simulation*. SPE 17094, 1989.

Torrens T.S, *Vetically Upward Two Phase Flow In Annulus*, Tesis, Departement of Mechanical Engineering University of Aucland, New Zealand.

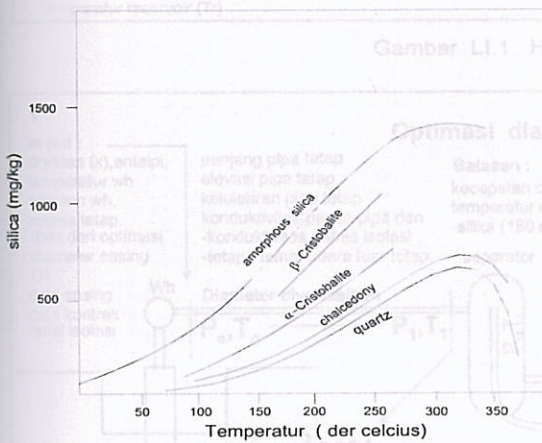
Tokeley H, Pearce R, *Plant Optimisation*, Materi kuliah, Geothermal Institut, Geothermal Workshops, New Zealand, 1983.

Wahl F.E, *Geothermal Energy Utilization*, Wiley-Interscience Publication, Jhon Wiley and Sons, New York, 1977.

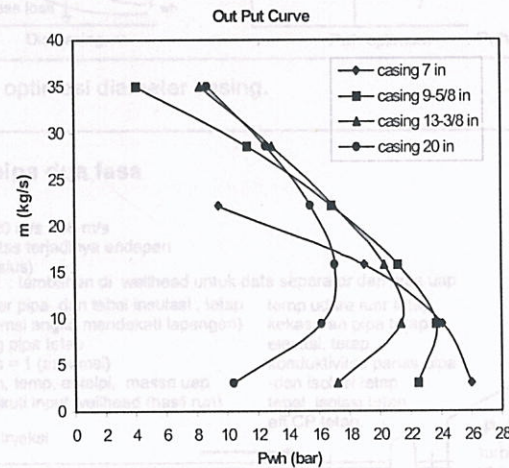
UCAPAN TERIMA KASIH.

Terima kasih kami ucapkan kepada :

1. Dr Ir Nenny Miryani Saptadji dan Dr Ir Lekosono Mucharam yang banyak membimbing Penulis.
2. Pihak PERTAMINA Divisi Panasbumi Kwarnas Pramuka Jakarta.



Gambar-1 Perkiraan Pengendapan Temperatur silika¹³⁾



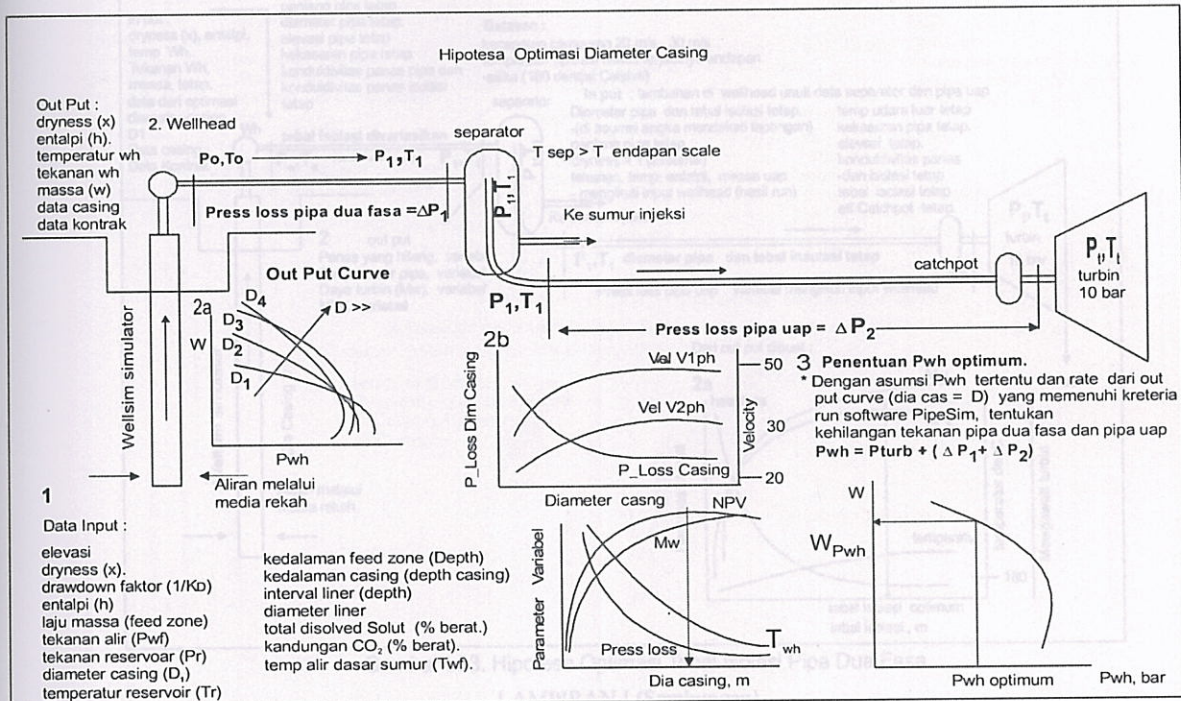
Gambar-2 Out Put Curve Berbagai Ukuran Casing.

Tabel 3.1 Karakteristik Pipa Dan Isolasi Di Permukaan.

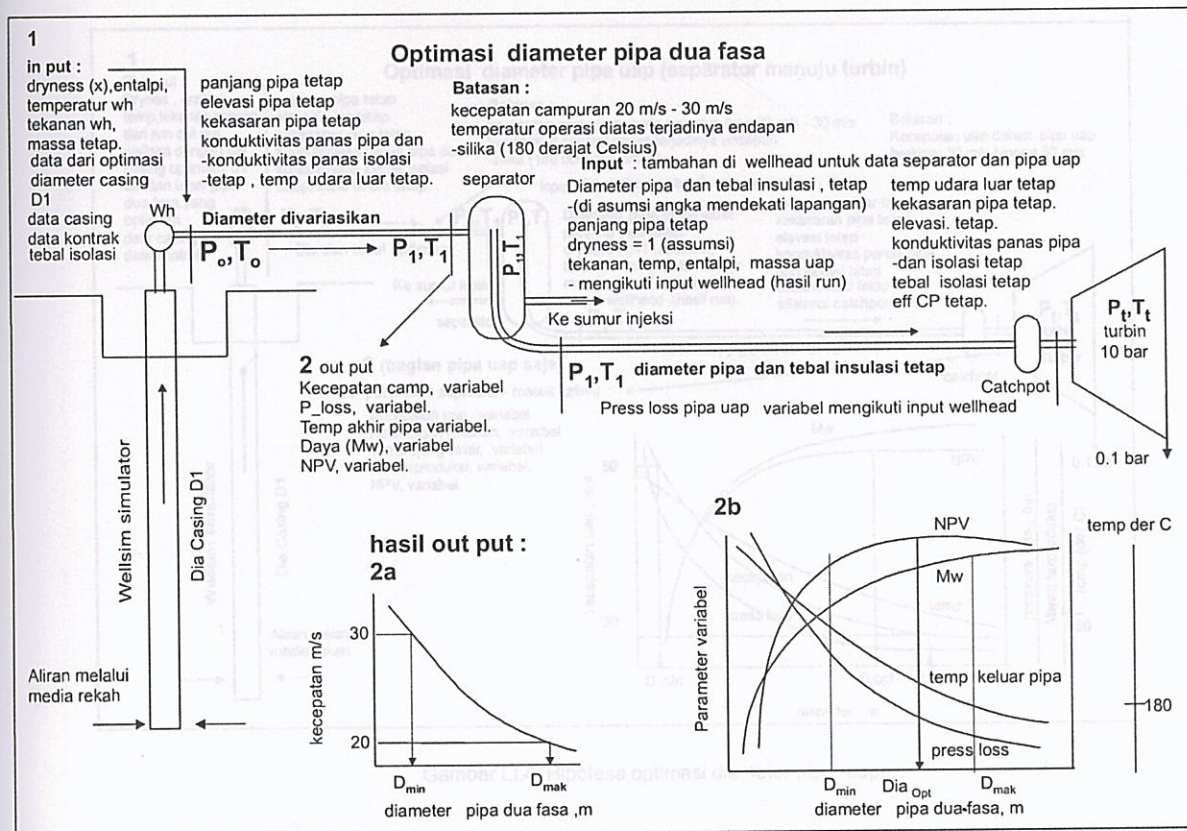
| Karakter | Pipa | Isolasi |
|------------------------------------|---|----------------|
| Konduktivitas (w/m °C) | 54 | 0.0677 |
| Kekasaran pipa (m) | 0.00005 | - |
| Matrial | Baja karbon rendah API 5L grade B, A106 Grade B, A53 Grade B | Calcium silica |
| Jenis Pipa | Xs (extra strength), Electric Resistant Welding | - |
| Densitas pipa (kg/m ³) | 7800 | - |

Gambar Li.2. Hipotesa Optimasi Diameter Pipa Dua Fasa.

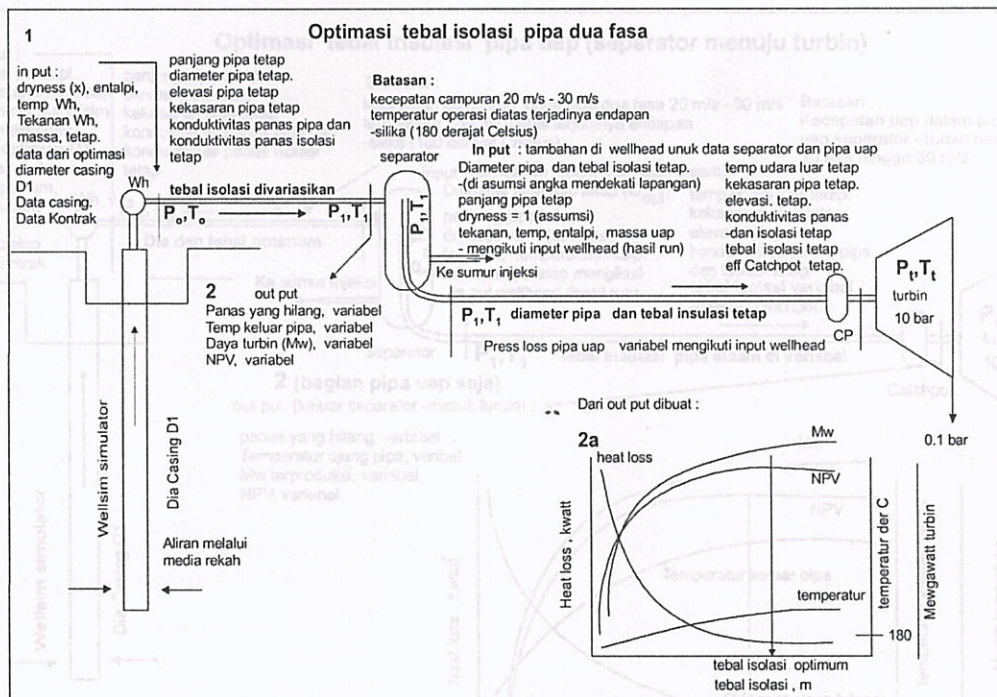
LAMPIRAN LI



Gambar LI.1 . Hipotesa optimasi diameter casing.

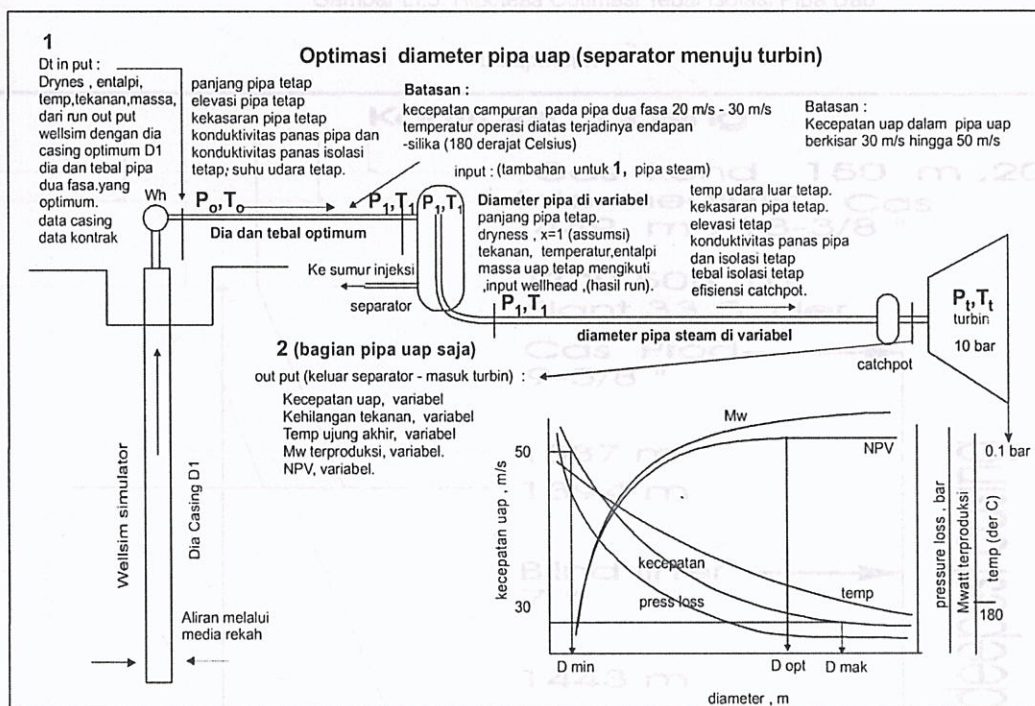


Gambar LI.2. Hipotesa Optimasi Diameter Pipa Dua Fasa.

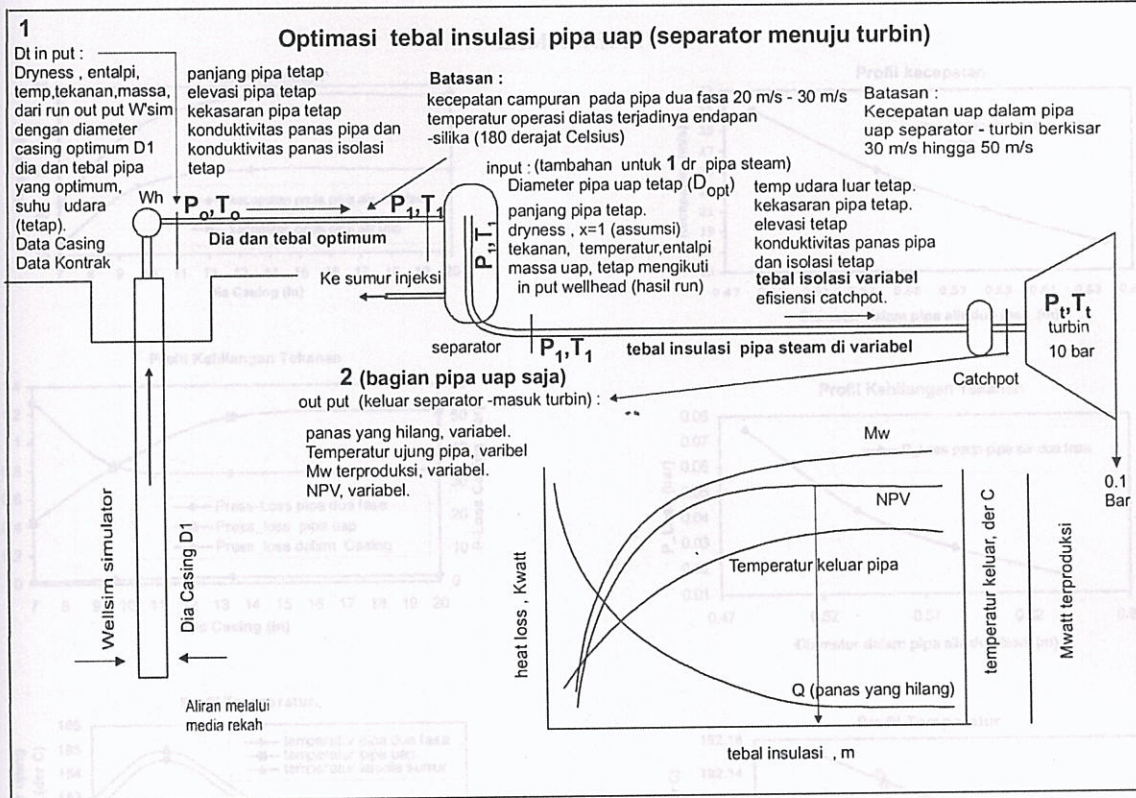


Gambar LI.3. Hipotesa Optimasi Tebal Isolasi Pipa Dua Fasa

LAMPIRAN I (Sambungan)

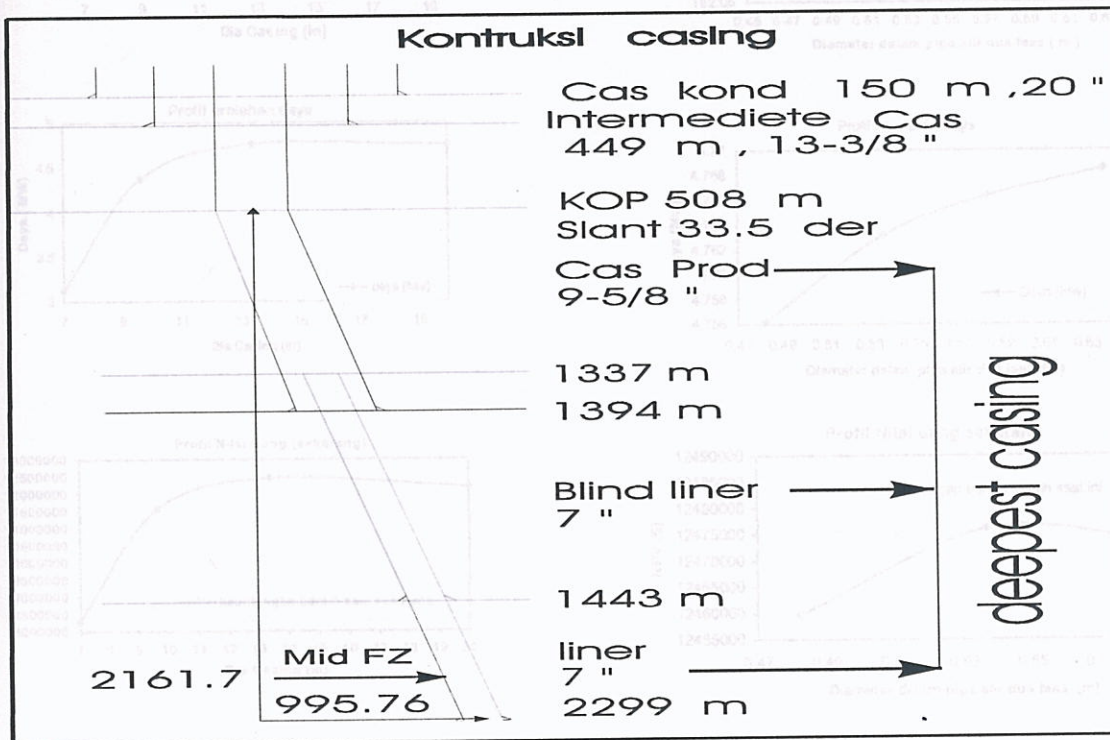


Gambar LI.4. Hipotesa optimasi diameter pipa uap.



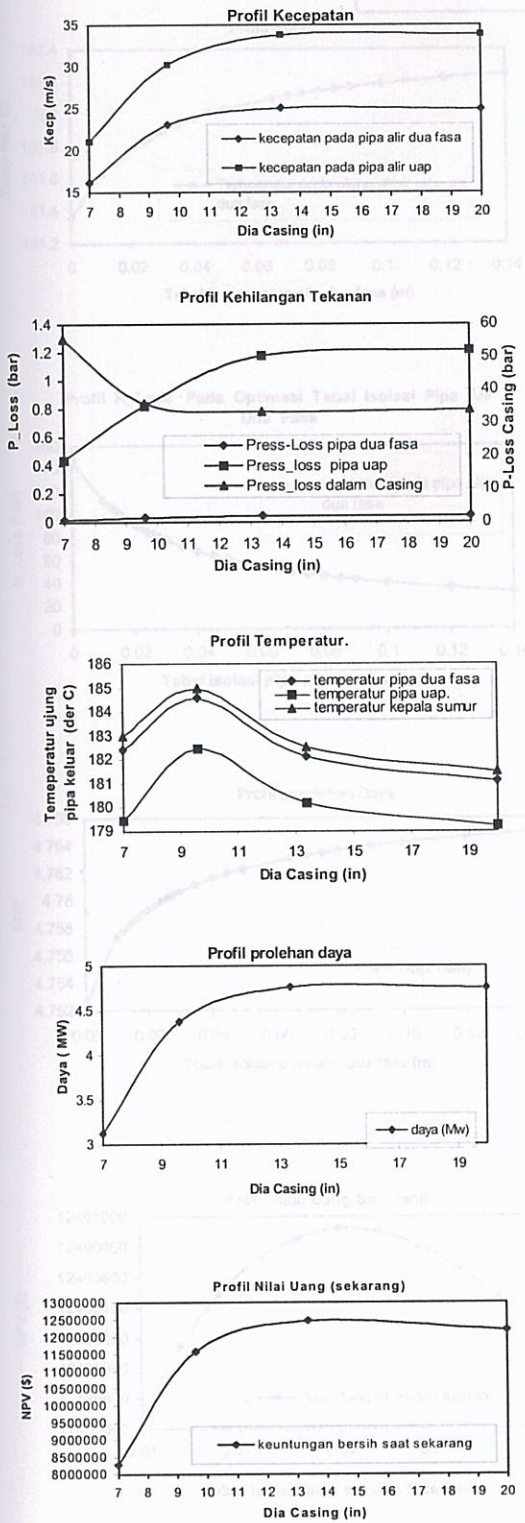
Gambar LI.5. Hipotesa Optimasi Tebal Isolasi Pipa Uap

Lampiran II

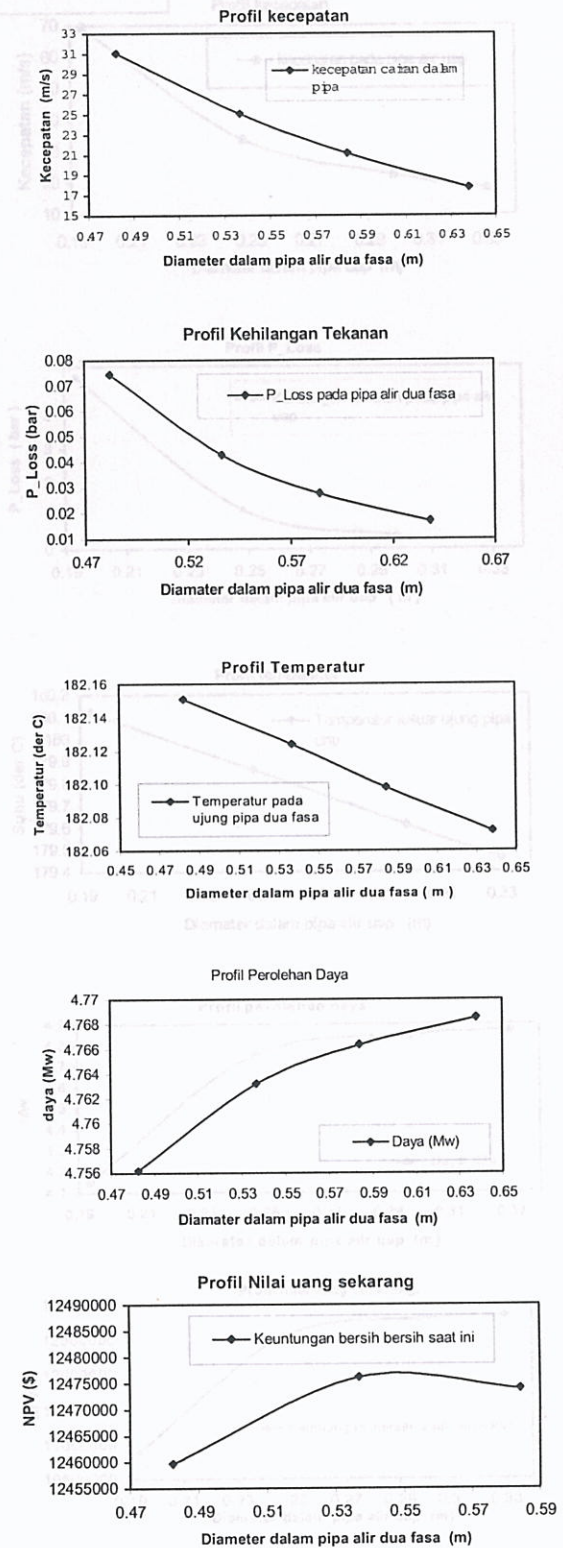


Gambar L.2.1. Konstruksi Casing Sumur Sby-05

LAMPIRAN III

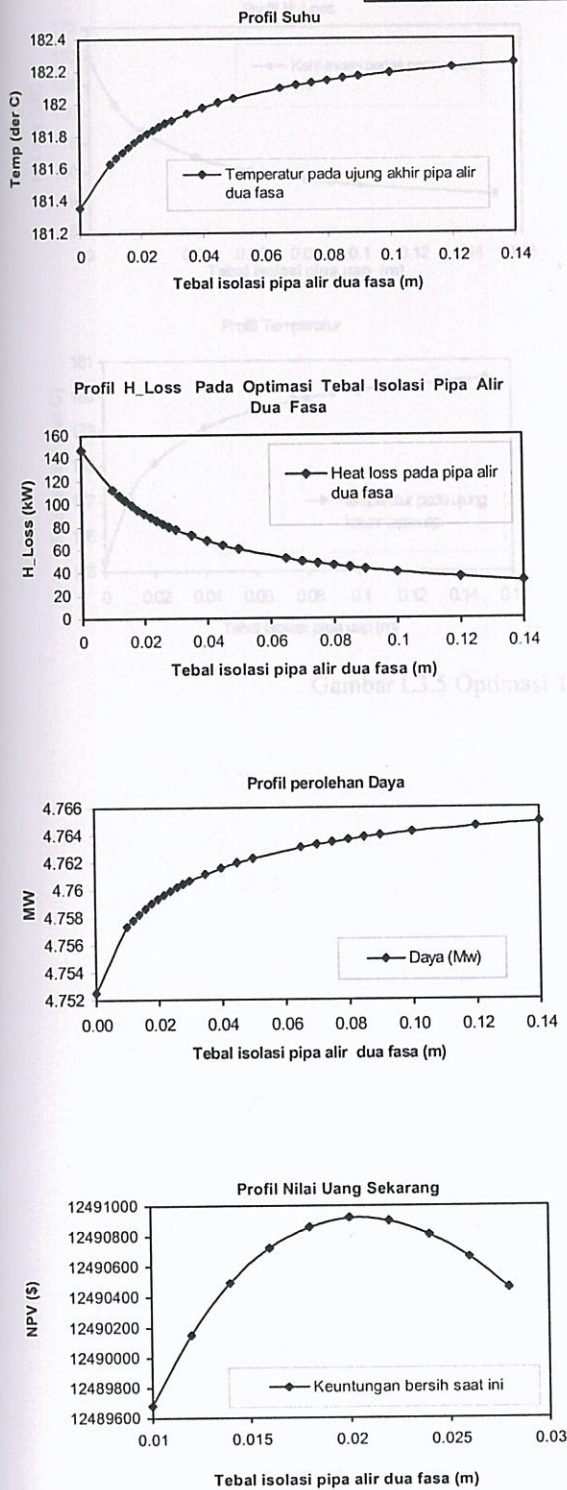


Gambar L3.1 Optimasi Diameter Casing

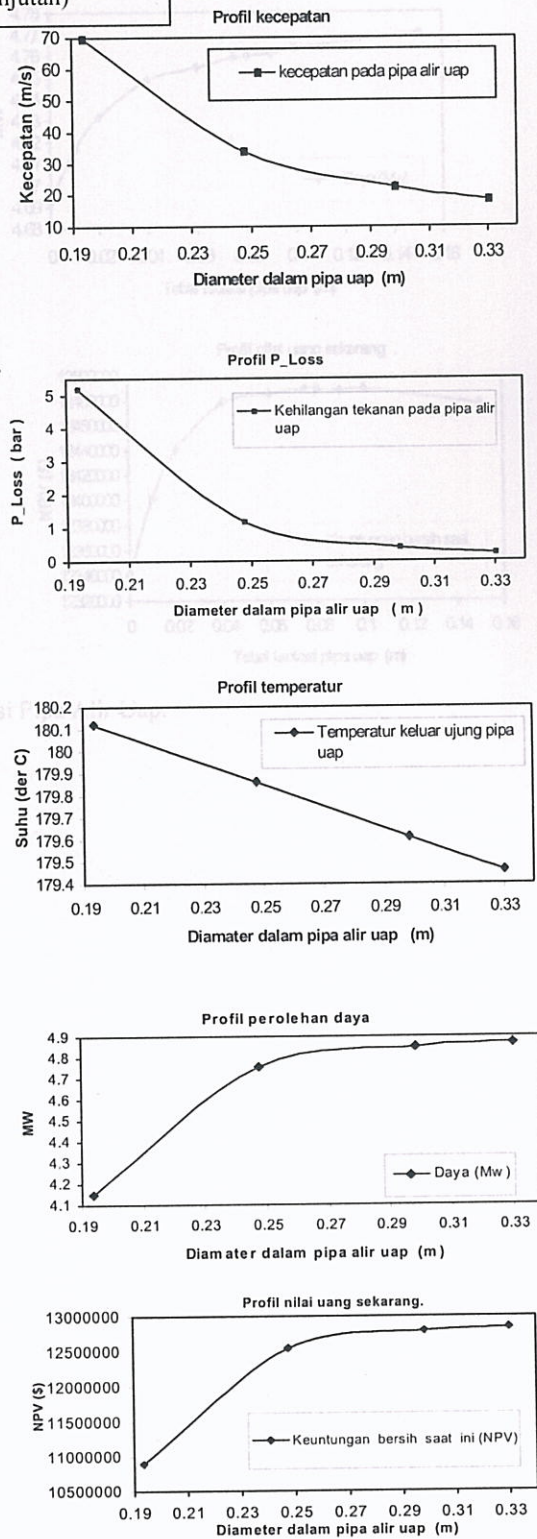


Gambar L3.2 Optimasi Diameter Pipa Alir Dua Fasa.

LAMPIRAN III (Lanjutan)

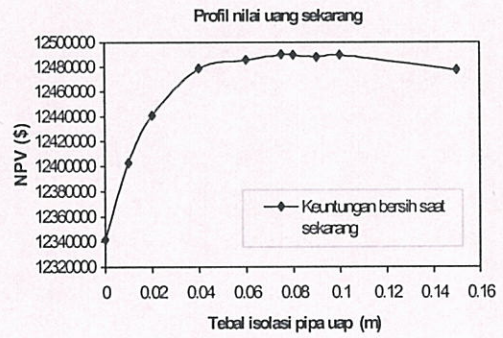
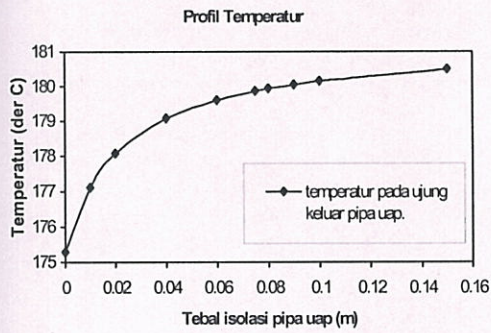
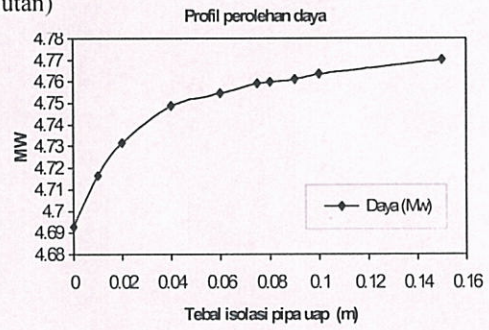
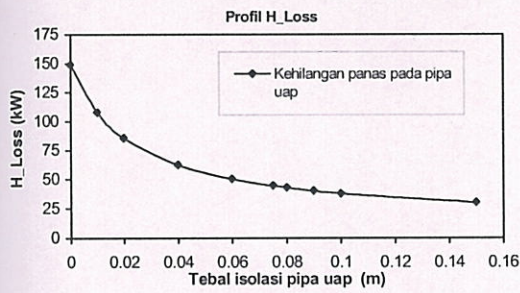


Gambar L3.3 Optimasi Tebal Isolasi Pipa Alir Dua Fasa



Gambar L3.4 Optimasi Diameter Pipa Uap

LAMPIRAN III (lanjutan)



Gambar L3.5 Optimasi Tebal Isolasi Pipa Alir Uap.