

# TEKNIK GEOTERMAL

Nenny Miryani Saptadji

ITB  PRESS

Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang  
Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini  
tanpa izin tertulis dari penerbit.

*Teknik Geotermal*

Penulis : Nenny Miryani Saptadji  
Editor : Heru Berian Pratama  
Editor Bahasa : Yuniar Zhafira Abdillah  
Desainer Isi : Indra Agoes Nugroho  
Desainer Jilid : Beta Kurniawahidayati  
Yuda A. Setiadi  
Foto Jilid : Reza Syahputra Mulyana  
Cetakan ke 2 : 2020  
ISBN : 978-602-5417-76-4

**ITB PRESS**

📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,  
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132  
☎ +62 22 20469057  
🌐 [www.itbpress.id](http://www.itbpress.id)  
✉ [office@itbpress.id](mailto:office@itbpress.id)  
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92  
APPTI No. 005.062.1.10.2018

Buku ini didedikasikan untuk putra-putri Indonesia yang tertarik mempelajari bidang Teknik Geotermal dan untuk mendukung peningkatan pemanfaatan energi geotermal di Indonesia yang potensinya tersebar hampir di seluruh wilayah tanah air.

Penulis bersyukur mendapat ilmu dan pengetahuan langsung dari beberapa pendidik bidang geotermal pada tahun 1987-1995, antara lain:

**Prof. Manfred Hochstein**  
Geothermal Sciences Expert

Director of the Geothermal Institute, University of Auckland - New Zealand

**Prof. Derek H. Freeston**

Geothermal Engineering Expert, Ph.D Promotor and Thesis Supervisor  
The Geothermal Institute, University of Auckland - New Zealand

**Prof. M.J. O'Sullivan**

Geothermal Reservoir Engineering Expert &  
PhD Promotor and Thesis Supervisor, University of Auckland - New Zealand

**Prof. P.R.L Browne**

Geothermal Sciences Expert

The Geothermal Institute, University of Auckland - New Zealand

Penulis juga sangat berterimakasih kepada almarhum Dr. Iman Soengkowo, dosen Teknik Perminyakan ITB, yang pada 1985 sangat mendorong dan memotivasi penulis untuk mendalami dan mengembangkan keilmuan geotermal yang pada waktu itu masih merupakan bidang keilmuan yang baru di Indonesia.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada sivitas akademik Program Studi Magister Teknik Panas Bumi ITB atas dukungan yang diberikan untuk penerbitan buku.

## KATA PENGANTAR

---

Indonesia merupakan negara pelopor eksplorasi geotermal jauh sebelum New Zealand, Amerika Serikat, dan Filipina. Pada 1854, tampaknya dapat diklaim sebagai tonggak eksplorasi geotermal Indonesia ketika Frans Wilhelm Junghuhn menuliskan hasil pengamatannya terhadap 23 sumber air panas di Jawa. Namun, industri geotermal Indonesia sendiri baru resmi berdiri jauh setelahnya, yaitu pada 29 Januari 1983 jika mengacu pada beroperasinya pembangkit 30 MW Kamojang Unit-1 secara komersial. Entah kebetulan atau tidak, sejarah ini berpengaruh terhadap perkembangan ilmu teknik geotermal (reservoir, produksi, dan utilisasi) yang jauh ketinggalan dibandingkan dengan eksplorasi geotermal (geologi, geokimia, dan geofisika). Teknik geotermal baru diajarkan di ITB (Jurusan Teknik Perminyakan) pada akhir 1980-an. Sementara eksplorasi geotermal telah banyak dikenal, bahkan menjadi mata kuliah baik berdiri sendiri ataupun bagian dari mata kuliah lain jauh sebelumnya di Jurusan Teknik Geologi. Oleh karena itu, buku-buku referensi tentang eksplorasi geotermal dalam bahasa Indonesia tidak sulit diperoleh. Namun, buku-buku referensi tentang teknik geotermal sangat terbatas sehingga terbitnya buku ini setidaknya dapat mengisi kekosongan tersebut.

Bukanlah proses yang pendek hingga buku ini sampai di tangan pembaca. Penulis mengumpulkan materi dalam buku ini sejak mengikuti program diploma pasca sarjana di Geothermal Institute-Auckland University pada 1987 kemudian dilanjutkan ketika penulis mengambil program Ph.D hingga 1995 di universitas yang sama. Bahkan, sebagian materi diselesaikan penulis ketika sudah kembali aktif mengajar di Jurusan Teknik Perminyakan ITB. Buku ini awalnya merupakan materi kuliah Teknik Geotermal yang diampu oleh penulis sejak 1995 dalam bentuk 10 modul terpisah dan kemudian disatukan menjadi diktat pada 2002. Pada kenyataannya, diktat ini tidak hanya dibaca oleh para mahasiswa yang sedang mengambil mata kuliah Teknik Geotermal di ITB, tetapi juga para mahasiswa di universitas-universitas lain. Diktat ini juga selalu menjadi materi pokok *training* untuk para pegawai yang akan terjun ke dalam industri geotermal. Dapat dikatakan bahwa diktat ini adalah bacaan wajib bagi siapa saja di semua kalangan yang ingin mengetahui apa itu geotermal.

Buku ini ditulis dengan sangat terstruktur dan bahasa sederhana. Bab-bab awal membahas mengenai aspek- aspek geotermal secara umum. Namun, aspek yang dibahas menjadi lebih spesifik mengenai teknik geotermal menuju akhir buku. Tidak diperlukan latar belakang keilmuan khusus agar mampu memahami buku ini, setidaknya untuk Bab 1 hingga Bab 4. Bab selanjutnya lebih cocok bagi pembaca yang memiliki latar belakang sains dan keteknikan.

Buku ini bisa dianggap sebagai buku pengantar untuk Teknik Geotermal mengingat pembahasannya mencakup semua aspek keteknikan geotermal, baik dari sisi reservoir, produksi, ataupun pemanfaatan/utilisasi geotermal. Sebagai pengantar, tentunya buku ini tidak masuk secara mendalam ke dalam tiap topik khusus tersebut. Namun, lebih menekankan pada gambaran umum serta ide-ide dasar pada bidang reservoir, produksi, dan utilisasi. Semoga dengan terbitnya buku ini juga akan diikuti dengan terbitnya buku yang lebih dalam membahas topik khusus teknik reservoir, teknik produksi, dan teknik utilisasi geotermal sehingga dapat menjadi

jawaban bagi para pembaca yang memiliki ketertarikan dan ingin memperdalam topik keteknikan geotermal tingkat lanjut.

Semoga buku dapat menginspirasi lahirnya buku-buku geotermal lain yang tidak hanya di bidang teknik, tetapi juga nonteknik seperti regulasi, ekonomi, lingkungan, dan sosial untuk memperkaya khazanah pustaka geotermal Indonesia. Semoga buku ini dapat memotivasi para pelaku geotermal, baik di perguruan tinggi, pusat-pusat penelitian, industri, regulator, organisasi/asosiasi, dan industri pendukung untuk menuliskan pengetahuan, pengalaman, dan keahliannya menjadi buku. Tidak semua pembaca memiliki kemampuan memahami bahasa asing sehingga buku-buku geotermal dalam bahasa Indonesia sangat diperlukan agar geotermal bisa menjangkau semua lapisan masyarakat. Pemahaman (*awareness*) geotermal yang baik menjadi kunci dalam memaksimalkan pemanfaatan geotermal di Indonesia.

Pada cetakan *limited edition* ini, dilakukan perbaikan tipografi, pemilihan kalimat yang lebih mudah dipahami oleh pembaca dan perubahan format penyajian yang menjadikan buku ini lebih nyaman dibaca. Sebagai kumpulan proses pembelajaran, pemikiran, penerapan, pengalaman panjang dan juga cita-cita Penulis, buku ini adalah bakti dan bukti kecintaan Penulis terhadap pendidikan dan dunia geotermal baik di ITB, Indonesia bahkan internasional yang tak pernah berhenti. Sebagai sebuah karya bahkan maha karya, buku ini dihadirkan secara khusus, dicetak secara terbatas hanya 100 buah dalam rangka purna bakti Penulis sebagai dosen/pendidik di ITB. Purna bakti tidaklah akhir dari sebuah pengabdian. Kontribusi pemikiran, arahan, wisdom sebagai “Geothermal Guru” akan selalu dinanti.

Jakarta, 17 Agustus 2020

Ali Ashat  
Advisory Board  
Geothermal Master Program-ITB

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI .....	VII
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Tujuan .....	3
I.3 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II. SISTEM GEOTERMAL .....</b>	<b>7</b>
II.1 Sistem di Bawah Permukaan Bumi.....	7
II.2 Sumber Energi Geotermal di Indonesia .....	11
II.3 Reservoir Geotermal .....	14
II.4 Sistem Hidrotermal.....	17
II.4.1 Klasifikasi Sistem Geotermal Berdasarkan Kandungan Fluida .....	19
II.4.2 Klasifikasi Sistem Geotermal Berdasarkan Temperatur Reservoir .....	22
II.4.3 Manifestasi Geotermal di Permukaan .....	24
II.4.4 Kandungan Kimia Fluida Geotermal .....	35
II.4.5 Penentuan Jenis Reservoir dan Temperatur Reservoir .....	39
II.4.6 Model Konseptual Sistem Geotermal.....	48
II.4.7 Apa yang Penting Diketahui tentang Reservoir Geotermal?.....	67
<b>BAB III. PEMANFAATAN FLUIDA GEOTERMAL.....</b>	<b>69</b>
III.1 Pemanfaatan Fluida Geotermal Untuk Pembangkit Listrik .....	69
III.1.1 Pembangkit Listrik Siklus Uap Kering ( <i>Direct Dry Steam</i> ) .....	73
III.1.2 Pembangkit Listrik Siklus Uap Hasil Pemisahan ( <i>Separated Steam Cycle</i> ).....	75
III.1.3 Pembangkit Listrik Siklus Uap Hasil Penguapan ( <i>Single Flash Cycle</i> ).....	77
III.1.4 Pembangkit Listrik dengan <i>Double Flash Cycle</i> .....	78
III.1.5 Pembangkit Listrik dengan <i>Triple Flash Cycle</i> .....	80
III.1.6 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Siklus Binari ( <i>Binary Cycle</i> ) .....	82
III.1.7 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Sklus Kombinasi ( <i>Combined Cycle</i> ).....	83
III.1.8 <i>Well Head Generating Unit</i> .....	89
III.1.9 Perkembangan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi .....	91
III.1.10 Pola Pengusahaan Geotermal untuk Pembangkit Listrik di Indonesia .....	91
III.1.11 Rencana Peningkatan Kapasitas PLTP di Indonesia .....	94
III.2 Pemanfaatan Langsung Fluida Geotermal untuk Sektor Nonlistrik .....	96
III.2.1 Pemanfaatan Langsung Fluida Geotermal di Beberapa Negara .....	96
III.2.2 Pemanfaatan Langsung Fluida Geotermal di Indonesia .....	101
<b>BAB IV. KEGIATAN PENGUSAHAAN GEOTERMAL .....</b>	<b>111</b>
IV.1 Dasar Hukum Kegiatan Pengusahaan Geotermal di Indonesia .....	111
IV.1.1 Undang-Undang No. 21/2014 tentang Geotermal .....	111
IV.1.2 UU No. 32/Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan.....	113
IV.2 Tahapan Kegiatan Pengusahaan Geotermal .....	113
IV.3 Eksplorasi Pendahuluan ( <i>Reconnaissance Survey</i> ) .....	115
IV.4 Kegiatan Eksplorasi G-G-G .....	117
IV.5 Kegiatan Pengeboran Eksplorasi .....	120
IV.6 Studi Kelayakan .....	122
IV.6.1 Latar Belakang dan Tujuan Studi Kelayakan.....	122
IV.6.2 Lingkup Pekerjaan dari Studi Kelayakan .....	122
IV.6.3 Kajian Sumber Daya ( <i>Resources Assesment</i> ).....	123
IV.6.4 Rencana Pengembangan Lapangan dan Pembangkitan Listrik.....	125
IV.6.5 Penjadwalan Proyek .....	127
IV.6.6 Perkiraan Biaya .....	128

IV.6.7	Kajian Keekonomian .....	130
IV.6.8	Kajian Lingkungan .....	133
IV.6.9	Dokumen Hasil Studi Kelayakan .....	138
IV.7	Kegiatan Eksploitasi.....	139
IV.8	Risiko Pengusahaan Geotermal .....	140
<b>BAB V.</b>	<b>SIFAT BATUAN DAN FLUIDA GEOTERMAL .....</b>	<b>145</b>
V.1	Sifat Batuan .....	145
V.2	Sifat Fluida .....	147
V.3	Sifat Fluida Satu Fasa .....	151
V.3.1	Volume Spesifik.....	151
V.3.2	Densitas .....	151
V.3.3	Energi Dalam ( <i>Internal Energy</i> ) .....	152
V.3.4	Entalpi dan Panas Laten .....	154
V.3.5	Entropi .....	155
V.3.6	Viskositas .....	156
V.4	Sifat Fluida Dua Fasa (Uap-Air) .....	157
V.4.1	Penentuan Sifat Fluida Dua Fasa .....	157
V.4.2	Penentuan Sifat Fluida Dua Fasa Secara Grafis .....	158
V.5	Sifat Fluida Dua Fasa di dalam Batuan Reservoir .....	161
<b>BAB VI.</b>	<b>ESTIMASI POTENSI ENERGI PANAS DI DALAM RESERVOIR &amp; POTENSI LISTRIK DARI RESERVOIR GEOTERMAL .....</b>	<b>165</b>
VI.1	Metode Perbandingan untuk Estimasi Awal Potensi Listrik Geotermal .....	166
VI.2	Metode <i>Heat Stored</i> untuk Estimasi Potensi Energi Panas di dalam Reservoir dan Potensi Listrik dari Suatu Reservoir Geotermal .....	168
VI.2.1	Estimasi Massa Uap dan Massa Air di dalam Reservoir .....	168
VI.2.2	Estimasi Energi Panas yang Terkandung dalam Uap dan Air .....	169
VI.2.3	Estimasi Panas yang Terkandung dalam Batuan .....	170
VI.2.4	Estimasi Kandungan Energi Panas Total di dalam Reservoir .....	170
VI.2.5	Estimasi Potensi Listrik dari Suatu Reservoir .....	171
VI.3	Ketersediaan Data.....	175
VI.3.1	Ketersediaan Data pada Tahap Eksplorasi Pendahuluan .....	176
VI.3.2	Ketersediaan Data dari Eksplorasi G-G-G .....	178
VI.3.3	Ketersediaan Data Setelah Dilakukan Pengeboran Sumur.....	178
VI.4	SNI Klasifikasi Sumber Daya dan Cadangan Geotermal Indonesia. ....	179
VI.5	Klasifikasi Sumber Daya dan Cadangan Geotermal di Beberapa Negara Lain.....	182
<b>BAB VII.</b>	<b>PENGUKURAN DAN PENGUJIAN SUMUR GEOTERMAL .....</b>	<b>185</b>
VII.1	Sumur Geotermal.....	185
VII.2	Tujuan, Jenis Pengukuran dan Pengujian Sumur .....	191
VII.3	<i>Downhole Logging &amp; Measurements</i> .....	192
VII.4	Uji Kompleksi ( <i>Completion Test</i> ) .....	195
VII.4.1	Uji Hilang Air atau <i>Water Loss Test</i> .....	195
VII.4.2	Uji Permeabilitas Total ( <i>Gross Permeability Test</i> ).....	203
VII.4.3	<i>Fall-off Test</i> .....	210
VII.5	Uji Panas ( <i>Heating-up Test</i> ) .....	213
VII.6	Uji Produksi .....	215
VII.6.1	Tujuan Uji Produksi .....	215
VII.6.2	Uji Produksi Sumur Satu Fasa Air .....	217
VII.6.3	Uji Produksi Sumur Satu Fasa Uap.....	222
VII.6.4	Uji Produksi Sumur Dua Fasa .....	228
VII.7	PTS <i>Flowing</i> .....	234
VII.8	<i>Pressure Transient Test - Single Well Test</i> .....	238
VII.9	<i>Pressure Transient Test - Interference Test</i> .....	240
VII.9.1	Prinsip Pelaksanaan.....	241
VII.9.2	Peralatan .....	241
VII.9.3	Respons Tekanan .....	242

VII.9.4 Metode Analisis .....	243
VII.10 <i>Tracer Test</i> .....	248
VII.10.1 Tujuan .....	248
VII.10.2 Prinsip Pelaksanaan .....	249
VII.10.3 Kegunaan <i>Tracer Testing</i> .....	249
VII.10.4 Jenis <i>Tracer</i> .....	250
VII.10.5 Jumlah Massa <i>Tracer</i> yang Akan Diinjeksikan .....	254
VII.10.6 Pelaksanaan <i>Tracer Test</i> .....	254
VII.10.7 Perencanaan Frekuensi Pengambilan Sampel .....	255
VII.10.8 Penyajian Data .....	255
VII.10.9 Analisis Data .....	255
<b>BAB VIII. FASILITAS PRODUKSI UAP DAN PEMBANGKIT LISTRIK.....</b>	<b>259</b>
VIII.1 Fasilitas Produksi Uap .....	259
VIII.1.1 Fasilitas Produksi di <i>Well Pad (Production Well Pad)</i> .....	260
VIII.1.2 Separator .....	261
VIII.1.3 Pipa Alir Fluida Dua Fasa.....	263
VIII.1.4 Pipa Alir Uap .....	265
VIII.1.5 Pipa Alir Air.....	269
VIII.2 Fasilitas Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.....	269
VIII.2.1 Turbin .....	271
VIII.2.2 Kondensor.....	273
VIII.2.3 <i>Gas Exhauster</i> .....	274
VIII.2.4 Sistem Pendingin .....	274
VIII.2.5 <i>Main Cooling Water Pump</i> .....	276
<b>BAB IX. ESTIMASI KEBUTUHAN UAP UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK .....</b>	<b>277</b>
IX.1 Prinsip-prinsip Termodinamika.....	277
IX.2 Kebutuhan Uap untuk Pembangkit Siklus Uap Kering .....	278
IX.2.1 Estimasi Kebutuhan Uap untuk PLTP Kamojang.....	281
IX.2.2 Estimasi Kebutuhan Uap untuk PLTP Darajat.....	282
IX.2.3 Estimasi Kebutuhan Uap untuk PLTP Patuha .....	283
IX.2.4 Estimasi Kebutuhan Uap untuk PLTP Secara Grafis .....	283
IX.2.5 Perbandingan Kebutuhan Uap untuk Beberapa PLTP Lainnya di Dunia .....	285
IX.3 Kebutuhan Uap untuk Pembangkit Siklus Uap Hasil Pemisahan .....	286
IX.3.1 Perhitungan Kebutuhan Uap untuk Pasokan ke PLTP .....	288
IX.3.2 Perhitungan Laju Alir Massa Air Keluar dari Separator .....	288
IX.4 Kebutuhan Uap untuk Pembangkit Siklus Penguapan Tunggal.....	289
IX.5 Kebutuhan Uap untuk Pembangkit dengan <i>Double Flash Cycle</i> .....	293
<b>BAB X. PERUBAHAN KONDISI RESERVOIR AKIBAT EKSPLOITASI .....</b>	<b>297</b>
X.1 Perubahan di Dalam Reservoir Dominasi-Uap Akibat Eksploitasi.....	297
X.1.1 Respons Reservoir Dominasi-Uap di Lapangan The Geysir .....	298
X.1.2 Respons Reservoir Dominasi-Uap di Lapangan Kamojang .....	299
X.2 Perubahan di Dalam Reservoir Dominasi-Air Akibat Eksploitasi .....	300
X.2.1 Respons Reservoir Dominasi-Air di Lapangan <i>Southern Negros</i> .....	304
X.2.2 Respons Reservoir Dominasi-Air Tongonan .....	306
X.2.3 Respons Reservoir Dominasi-Air di Lapangan Ahuachapán .....	308
X.2.4 Respons Reservoir Dominasi-Air di Lapangan Awibengkong-Gunung Salak .....	309
X.3 Prediksi Laju Penurunan Produksi ( <i>Decline Rate</i> ) .....	309
X.4 Prediksi Kebutuhan <i>Make-Up Wells</i> untuk Menjaga Kelangsungan Produksi .....	310
X.5 Prediksi Perubahan Kondisi Reservoir Akibat Eksploitasi Terhadap Waktu.....	312
X.5.1 Pengembangan Model untuk Simulasi Reservoir .....	312
X.5.2 Simulasi Reservoir pada Keadaan Awal ( <i>Natural State</i> ) .....	314
X.5.3 Simulasi Produksi dari Reservoir ( <i>History Matching</i> ) .....	315
X.5.4 Prediksi Kinerja Reservoir dari Model Reservoir .....	315



<b>BAB XI. MANAJEMEN RESERVOIR</b> .....	<b>317</b>
XI.1 Latar Belakang Perlunya Dilakukan Manajemen Reservoir .....	317
XI.2 Tujuan dan Proses Manajemen Reservoir .....	319
XI.3 Proses Manajemen Reservoir .....	320
XI.3.1 Penentuan Target, Strategi, dan Rencana Pengembangan .....	321
XI.3.2 Penyusunan Rencana Pengembangan .....	324
XI.3.3 Implementasi Proyek Geotermal .....	328
XI.3.4 <i>Monitoring</i> (Pemantauan) Kinerja Reservoir dan Lapangan .....	328
XI.3.5 Evaluasi dan Langkah Perbaikan .....	349
XI.4 Tim Manajemen Reservoir .....	351
<b>PUSTAKA</b> .....	<b>353</b>